



Universidad
Carlos III de Madrid

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA PARA UNIÓN ATORNILLADA

Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

Leganés, Octubre de 2014

Autor: D. Pedro del Arco Pando

Tutor: Dra. D^a. Ester Olmeda Santamaría

Contenido

AGRADECIMIENTOS PERSONALES.....	8
AGRADECIMIENTOS PROFESIONALES	9
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	10
1.1. <i>Introducción</i>	<i>10</i>
1.2. <i>Objetivo del proyecto</i>	<i>11</i>
1.3. <i>Estructura de la memoria</i>	<i>11</i>
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	12
2.1. <i>John Deere y su historia</i>	<i>12</i>
2.2. <i>El cliente, el desarrollo y la calidad: Un objetivo constante</i>	<i>13</i>
2.3. <i>John Deere, reconocimiento público</i>	<i>17</i>
2.4. <i>Inicios de John Deere Ibérica S.A.</i>	<i>18</i>
2.5. <i>Actualidad de John Deere Ibérica S.A.</i>	<i>19</i>
2.6. <i>Productos John Deere Ibérica S.A.....</i>	<i>21</i>
2.6.1. <i>Ejes y engranajes</i>	<i>21</i>
2.6.2. <i>Mandos finales y enganches tripulantes</i>	<i>21</i>
2.6.3. <i>Cajas pesadas de transmisión</i>	<i>22</i>
2.6.4. <i>Cajas ligeras de transmisión</i>	<i>22</i>
3. UNIÓN ATORNILLADA	23
3.1. <i>Relación entre par aplicado y fuerza de amarre</i>	<i>23</i>
3.2. <i>Par de apriete necesario para una fuerza de amarre deseada</i>	<i>26</i>
3.3. <i>Comportamiento</i>	<i>27</i>
3.3.1. <i>Clasificación de variables que afectan al comportamiento y/o resultados del ensamblaje de uniones atornilladas</i>	<i>27</i>
3.4. <i>Estabilidad</i>	<i>36</i>
3.5. <i>Modos de fallo.....</i>	<i>37</i>
3.5.1. <i>Introducción de los modos de fallo</i>	<i>37</i>
3.5.2. <i>Condiciones esenciales.....</i>	<i>38</i>
4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA EN DETALLE	40
4.1. <i>Tornillo</i>	<i>40</i>
4.1.1. <i>Calidad.....</i>	<i>41</i>
4.1.2. <i>Tipos de tornillos (cabezas).....</i>	<i>42</i>
4.1.3. <i>Normalización de tornillos</i>	<i>42</i>
4.1.4. <i>Comparación de tornillos</i>	<i>43</i>
4.2. <i>La unión atornillada</i>	<i>45</i>
4.2.1. <i>Tipos de uniones.....</i>	<i>45</i>
4.2.2. <i>Comportamiento mecánico de la junta</i>	<i>46</i>
4.2.3. <i>Comportamiento tensional.....</i>	<i>47</i>
4.2.4. <i>Arandelas</i>	<i>48</i>
4.3. <i>Herramienta de ensamblaje</i>	<i>49</i>
4.3.1. <i>Llaves dinamométricas.....</i>	<i>49</i>
4.3.2. <i>Llaves neumáticas.....</i>	<i>52</i>

4.3.3.	Herramientas eléctricas y su tecnología.....	69
4.4.	<i>Proceso de ensamblaje</i>	85
4.5.	<i>Estudio de capacidad (CPK)</i>	89
4.5.1.	Realización	89
4.5.2.	Comprobación de pares	92
4.5.3.	Auditoría de pares	94
5.	PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA	97
5.1.	<i>Pares según plano</i>	98
5.2.	<i>PFMEA (Análisis de los Modos de Fallo de Proceso)</i>	100
5.3.	<i>Medios de apriete</i>	102
5.3.1.	Lay-Out.....	102
5.3.2.	Herramientas	105
5.5.	<i>Descripción de la unión y programación</i>	107
5.5.1.	Apriete 1: Colocación corona interior.....	107
5.5.2.	Apriete 2: Cierre tapa inferior	113
5.5.3.	Apriete 3: Tuerca eje rotor.....	119
5.5.4.	Apriete 4: Tuerca eje entrada	125
5.5.5.	Apriete 5: Tuerca volante de inercia.....	130
6.	CONCLUSIONES	138
7.	TRABAJOS FUTUROS.....	139
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1: UNIONES MÁS COMUNES. SOLDADURA, REMACHADO, ATORNILLADO.	10
FIGURA 2: FUERZA DE AMARRE.....	10
FIGURA 3: PRIMER ARADO AUTO-LIMPIABLE FABRICADO POR JOHN DEERE.....	12
FIGURA 4: JOHN DEERE	13
FIGURA 5: JOHN DEERE “WATERLOO BOY” 1914.....	14
FIGURA 6: JOHN DEERE GPS SISTEMA DE GUIADO	15
FIGURA 7: EVOLUCIÓN DE LOS LOGOS COMERCIALES DE JOHN DEERE DESDE SUS COMIENZOS EN 1854	16
FIGURA 8: LANZ BULLDOG 1956	18
FIGURA 9: JOHN DEERE TRACTOR MODELO 505 DE 1963	18
FIGURA 10: VISTA AÉREA JOHN DEERE IBÉRICA S.A. GETAFE.....	19
FIGURA 11: MAQUINARIA EN LA ENTRADA DE JOHN DEERE IBÉRICA S.A. GETAFE.....	20
FIGURA 12: EJES Y ENGRANAJES	21
FIGURA 13: MANDOS FINALES.	21
FIGURA 14: CAJAS LIGERAS.....	22
FIGURA 15: CAJAS PESADAS.....	22
FIGURA 16: FUERZA DE AMARRE Y FRICCIÓN	23
FIGURA 17: FUERZAS QUE INTERVIENEN A LA HORA DE APRETAR UN TORNILLO O TUERCA	23
FIGURA 18: TENSIÓN EQUIVALENTE DURANTE EL APRIETE	24
FIGURA 19: CARGAS TÍPICAS QUE SOPORTAN LAS UNIONES ATORNILLADAS	24
FIGURA 20: TENSIÓN VS. PAR DEBIDO A LUBRICACIÓN	25
FIGURA 21: SÍMIL UNIÓN ATORNILLADA VS. SISTEMA DE MUELLES	36
FIGURA 22: SEÑAL DE CIZALLADURA	38
FIGURA 23: FRAGILIDAD POR H2	38
FIGURA 24: FRACTURA POR FATIGA	38
FIGURA 25: TUERCA FLOJA	39
FIGURA 26: CORROSIÓN	39
FIGURA 27: ANATOMÍA DEL TORNILLO	40
FIGURA 28: PERFIL DE ROSCADO Y PARÁMETROS ESENCIALES.....	40
FIGURA 29: TORNILLO CALIDAD 10.9	41
FIGURA 30: DIAGRAMA TENSIÓN - DEFORMACIÓN	41
FIGURA 31: TIPOS DE TORNILLOS (CABEZAS).	42
FIGURA 32: TORNILLOS DE LA MUESTRA	43
FIGURA 33: DIFERENCIA DE ALTURA	44
FIGURA 34: DIFERENCIA EN LA PARTE INFERIOR.....	44
FIGURA 35: TIPOS DE UNIONES ATENDIENDO A LA EMPAQUETADURA	45
FIGURA 36: TENSIÓN VS. DEFORMACIÓN	46
FIGURA 37 TRACCIÓN EN TORNILLO, COMPRESIÓN EN LA JUNTA.	46
FIGURA 38: SÍMIL UNIÓN ATORNILLADA VS. SISTEMA DE MUELLES	46
FIGURA 39: ESTADO TENSIONAL	47
FIGURA 40: TIPOS DE ARANDELAS MÁS UTILIZADOS EN INDUSTRIA.	48
FIGURA 41: LLAVE DINAMOMÉTRICA DE “ROTURA”.....	49
FIGURA 42: DETALLE DEL MECANISMO DE ROTURA.....	49
FIGURA 43: DINAMOMÉTRICA DE DESLIZAMIENTO.	50

FIGURA 44: DINAMOMÉTRICA DE DIAL	50
FIGURA 45: DINAMOMÉTRICA DIGITAL	51
FIGURA 46: PISTOLA NEUMÁTICA IMPACTO	52
FIGURA 47: MARTILLO BASCULANTE	52
FIGURA 48: DOBLE MARTILLO	53
FIGURA 49: DOBLE MARTILLO EVOLUCIONADO	53
FIGURA 50: SISTEMA 3-JAW	54
FIGURA 51: SISTEMA DYNAPACT	54
FIGURA 52: PISTOLA NEUMÁTICA IMPULSO	55
FIGURA 53: UNIDAD DE DOBLE IMPULSO Y FUNCIONAMIENTO.	56
FIGURA 54: COMPARATIVA ENTRE MOTORES DE UNA Y DOS CÁMARAS.	56
FIGURA 55 PISTOLA DE IMPULSO SIMPLE	57
FIGURA 56: PISTOLA CON DESCONEXIÓN	57
FIGURA 57: COMPARATIVA IMPACTO VS IMPULSO	58
FIGURA 58: PISTOLA IMPULSO PAR CONTROLADO	58
FIGURA 59: ELEMENTOS NECESARIOS EN LA INSTALACIÓN	60
FIGURA 60: PISTOLA FET-99-2	61
FIGURA 61: CARACTERÍSTICAS PISTOLA FET-99-2	61
FIGURA 62: COMMANDER	61
FIGURA 63: INTERFACE	62
FIGURA 64: REGULADOR DE AIRE	62
FIGURA 65: VÁLVULA SOLENOIDE	62
FIGURA 66: LAYOUT DEL SISTEMA FET COMPLETO	63
FIGURA 67: DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO FET	64
FIGURA 68: SISTEMA DE CARGA DE DATOS. A) CARGA POR GRUPOS. B) TIEMPO REAL.	65
FIGURA 69: SISTEMA DE COMUNICACIÓN	66
FIGURA 70: MANUAL DE USUARIO FET	67
FIGURA 71: COFRE DE CONTROL TWINCVI II Y HERRAMIENTA ELÉCTRICA	69
FIGURA 72: HUSILLO DOBLE SÍNCRONO PARA EL APRIETE DE CULATAS	70
FIGURA 73: SECUENCIA DE BÚSQUEDA	71
FIGURA 74: APROXIMACIÓN	71
FIGURA 75: APRIETE AL PAR	72
FIGURA 76: APRIETE AL PAR + ÁNGULO	73
FIGURA 77: APRIETE AL ÁNGULO + PAR	73
FIGURA 78: APRIETE AL PAR + ÁNGULO + PENDIENTE	74
FIGURA 79: CONTROL ADICIONAL DE CORRIENTE	74
FIGURA 80: MANTENIMIENTO AL PAR	75
FIGURA 81: PARADA POR ÁNGULO	76
FIGURA 82: PARADA POR PAR	76
FIGURA 83: APRIETE AL LÍMITE ELÁSTICO	77
FIGURA 84: DESAPRIETE AL PAR + ÁNGULO	78
FIGURA 85: BRAZO ARTICULADO	80
FIGURA 86: POSICIONES CON Y SIN NECESIDAD DE FRENO RESPECTIVAMENTE	81
FIGURA 87: FRENO DE PINZA	82
FIGURA 88: FRENO DE ENGRANAJES	83
FIGURA 89: CILINDRO NEUMÁTICO	83

FIGURA 90: MULTIPLICADOR DE PRESIÓN Y CALDERÍN	84
FIGURA 91: CAJA DE BOCAS.....	84
FIGURA 92: LLAVE DINAMOMÉTRICA	86
FIGURA 93: PISTOLA NEUMÁTICA PAR CONTROLADO.....	86
FIGURA 94: MULTIPLICADOR DE PAR	86
FIGURA 95: HUSILLO ELÉCTRICO	86
FIGURA 96: ESQUEMA SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS	87
FIGURA 97: EQUILIBRADOR	87
FIGURA 98: USO BARRA DE REACCIÓN.....	87
FIGURA 99: CONTROLADOR HUSILLOS ELÉCTRICOS	88
FIGURA 100: EJEMPLO DE ESTUDIO DE CAPACIDAD	91
FIGURA 101: COMPROBADOR DIGITAL Y TRANSDUCTORES	92
FIGURA 102: TARJETA COMPROBACIÓN DE PARES.....	93
FIGURA 103: VARIACIÓN DE LA FUERZA DE ROZAMIENTO.....	95
FIGURA 104: KNIFE DRIVE GEN IV.....	97
FIGURA 105: PLANO APRIETE 1	98
FIGURA 106: PLANO APRIETE 2	98
FIGURA 107: PLANO APRIETE 3	99
FIGURA 108: PLANO APRIETE 4	99
FIGURA 109: PLANO APRIETE 5	99
FIGURA 110: PLANOS BRAZOS ARTICULADOS	102
FIGURA 111: LAY-OUT 2D KNIFE DRIVE GENERACIÓN IV	103
FIGURA 112: LAY-OUT 3D KNIFE DRIVE GENERACIÓN IV	104
FIGURA 113: HERRAMIENTA ELEGIDA PARA EL PRIMER PUESTO	105
FIGURA 114: HERRAMIENTA ELEGIDA PARA EL SEGUNDO PUESTO	105
FIGURA 115: APRIETE 1 – CORONA INTERIOR.....	107
FIGURA 116: TORNILLO CE18661	107
FIGURA 117: PRE APRIETE INICIAL.....	108
FIGURA 118: APRIETE INICIAL	108
FIGURA 119: PRE APRIETE, 1ª MODIFICACIÓN.....	109
FIGURA 120: APRIETE, 1ª MODIFICACIÓN	109
FIGURA 121: GRÁFICA APRIETE CORONA INTERIOR.....	110
FIGURA 122: GRÁFICA DATOS ÁNGULO APRIETE CORONA INTERIOR.....	111
FIGURA 123: MODIFICACIÓN ÁNGULO	112
FIGURA 124: COMPROBACIÓN PROGRAMACIÓN EN CONTROLADOR	112
FIGURA 125: APRIETE 2 – TAPA EJE EXCÉNTRICO.....	113
FIGURA 126: TORNILLO 19M9419	113
FIGURA 127: PRE APRIETE INICIAL.....	114
FIGURA 128: APRIETE INICIAL	114
FIGURA 129: PRE APRIETE, 1ª MODIFICACIÓN.....	115
FIGURA 130: PRE APRIETE 2, 1ª MODIFICACIÓN.	115
FIGURA 131: APRIETE, 1ª MODIFICACIÓN.	115
FIGURA 132: GRÁFICA APRIETE TAPA.....	116
FIGURA 133: GRÁFICA DE ÁNGULOS APRIETE TAPA INFERIOR	117
FIGURA 134: MODIFICACIÓN ÁNGULO	118
FIGURA 135: GRÁFICAS CONTROLADOR Y ORDENADOR RESPECTIVAMENTE	118

FIGURA 136: APRIETE 3 – TUERCA EJE ROTOR	119
FIGURA 137: TUERCA CE18663 CON ANILLO DE NYLON Y BOCA ESPECIAL	119
FIGURA 138: PRE APRIETE INICIAL	120
FIGURA 139: APRIETE INICIAL	120
FIGURA 140: PRE APRIETE MODIFICADO	121
FIGURA 141: APRIETE MODIFICADO	121
FIGURA 142: GRÁFICA APRIETE TUERCA EJE ROTOR.....	122
FIGURA 143: GRÁFICA DE ÁNGULOS APRIETE TUERCA EJE ROTOR	123
FIGURA 144: PROGRAMACIÓN LÍMITES DE ÁNGULO	124
FIGURA 145: APRIETE 4 - TUERCA EJE DE ENTRADA.....	125
FIGURA 146: CE30210M.....	125
FIGURA 147: PRE APRIETE INICIAL.....	125
FIGURA 148: APRIETE INICIAL	126
FIGURA 149: PRE APRIETE MODIFICADO	126
FIGURA 150: APRIETE MODIFICADO	127
FIGURA 151: GRÁFICA APRIETE TUERCA EJE DE ENTRADA	127
FIGURA 152: GRÁFICA DE ÁNGULOS APRIETE TUERCA EJE DE ENTRADA	128
FIGURA 153: PROGRAMACIÓN LÍMITES DE ÁNGULO	129
FIGURA 154: APRIETE 5 - TUERCA VOLANTE DE INERCIA.....	130
FIGURA 155: TUERCA CE19586.....	130
FIGURA 156: PRE APRIETE INICIAL.....	131
FIGURA 157: APRIETE INICIAL	131
FIGURA 159: APRIETE MODIFICADO	132
FIGURA 158: PRE APRIETE MODIFICADO	132
FIGURA 160: CONTROL PAR DE ROZAMIENTO	133
FIGURA 161: TRATAMIENTO DE DEFECTO	134
FIGURA 162: GRÁFICA APRIETE TUERCA VOLANTE DE INERCIA.....	135
FIGURA 163: GRÁFICA DE ÁNGULOS APRIETE TUERCA VOLANTE DE INERCIA	136
FIGURA 164: PROGRAMACIÓN LÍMITES DE ÁNGULO	137

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

En primer lugar agradecer la oportunidad de estudiar a mis padres (Ángela y Pedro) y a mi tía (María José). Sin su apoyo constante e incondicional no habría sido posible llegar hasta aquí. Gracias a mi novia (Marina), cuya paciencia durante esta última etapa de mi vida académica ha sido indispensable.

En segundo lugar a mis compañeros y sin embargo amigos de carrera (Casinillo). Por las tardes eternas de prácticas y el buen rollo para poder soportarlas.

En tercer lugar a mis ex compañeros de trabajo (Carlos, Alberto, Alfonso, etc...), por la acogida y la forma de tratar al “becario”. Gracias también por los conocimientos compartidos y la disponibilidad para conmigo.

En cuarto lugar a Mariano, cuya amistad ha significado mucho dentro y fuera de JD. Los cafés fuera de JD no son lo mismo. También a Raúl, amigo, compañero de trabajo y proveedor de gran parte de la información técnica exhibida en el proyecto.

En general a todas las personas que han pasado por mi vida y de las cuales he aprendido algo, ya sea bueno o malo. Con las cosas buenas se aprende, pero con las malas además se reflexiona.

GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS PROFESIONALES

El estudio de uniones atornilladas surge gracias a la oportunidad de trabajo en John Deere Ibérica S.A. como parte de una beca de aprendizaje.

La beca consistía en aprender, a la vez que ayudar, a gestionar el área de aprietes de la empresa, que a su vez forma parte del Departamento de Manufactura.

El área de aprietes abarca varios puntos importantes, entre los que destaca el de elegir los medios de apriete adecuados a cada aplicación así como su programación, mantenimiento y puesta a punto.

Lo aprendido durante la beca, tanto técnicamente, como el compañerismo y los primeros pasos en la vida laboral, ha sido de gran ayuda en el devenir del presente proyecto y sin duda lo serán a lo largo de mi carrera profesional.

Gracias también, tanto al Departamento de Ingeniería Mecánica de la UC3M, como a mi tutora, Ester Olmeda, por aceptar la tutoría del presente proyecto y por ayudarme en el devenir del mismo, aun habiendo sido madre recientemente.

1.INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

La unión de dos elementos se puede llevar a cabo de múltiples formas (Figura 1), ya sea soldando, remachando, atornillando, etc.

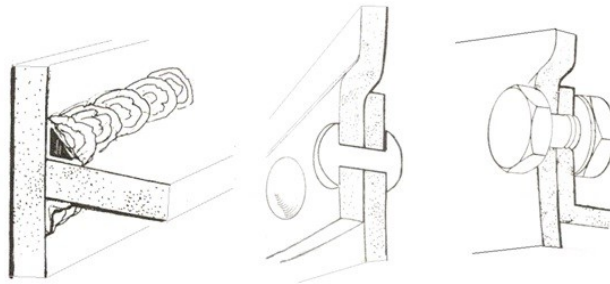


Figura 1: Uniones más comunes. Soldadura, Remachado, Atornillado.

En este caso, y tratándose de un proyecto de aprietes, se centrará en las uniones atornilladas, por supuesto sin menospreciar las aplicaciones y la tecnología que requiere el empleo de las otras dos técnicas.

Ventajas o razones para utilizar la unión atornillada en lugar de las otras tecnologías:

- Unión fácil y rápida
- Puede ser desmontada y montada de nuevo
- Elementos estándar y bien definidos
- Coste reducido

El objetivo de cualquier unión atornillada es establecer una fuerza de amarre (Figura 2). El proceso es sencillo, ya que se aplica una torsión (par) al tornillo para que se establezca una tensión en el mismo, que se transmita así a la unión y quede fijada.

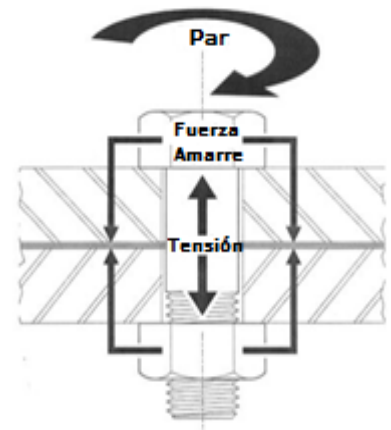


Figura 2: Fuerza de amarre

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.2. Objetivo del proyecto

El objetivo del presente proyecto es la descripción en detalle de la unión atornillada como método más empleado en la construcción de maquinaria y estructuras; de los elementos que típicamente forman parte de ellas; de la herramienta idónea para una correcta fijación; de los estudios de capacidad de herramientas de apriete y, sobre todo, de la programación de un nuevo puesto de apriete en la fábrica John Deere Ibérica S.A. Para lograr ese objetivo, previamente debe realizarse un estudio de uniones atornilladas.

1.3. Estructura de la memoria

Como ayuda a la lectura de la memoria, se incluye un breve resumen de los diferentes capítulos que la componen.

El capítulo primero de la memoria contiene una breve introducción en la que se describe lo que es una unión atornillada y los objetivos de las mismas en la industria.

El capítulo segundo trata tanto de la historia de John Deere como de la fábrica John Deere Ibérica S.A. sita en Getafe.

Los capítulos tercero y cuarto se adentran más profundamente en el mundo de las uniones atornilladas y los elementos que las componen, así como de las variables que influyen en el buen comportamiento de las mismas. Se describe además la última tecnología empleada para cada tipo de unión.

El capítulo quinto se centra en la utilización de los conocimientos aprendidos durante la beca de aprendizaje, aplicados a la programación de un nuevo apriete en la fábrica.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1. John Deere y su historia

John Deere fue un herrero norteamericano que en el año 1836 emigró al oeste de Estados Unidos, como uno de tantos colonizadores de aquella zona. Estableció su forja en Gran Detour (Illinois), donde pudo comprobar que la conquista de nuevas tierras resultaba mucho más difícil de lo esperado: los suelos fértiles y arcillosos de las praderas norteamericanas se adherían constantemente a los arados tradicionales de hierro fundido, obligando al agricultor a limpiar continuamente el arado haciendo muy dificultosas las labores agrícolas básicas.

John Deere comenzó entonces a experimentar en su forja con distintas formas y materiales en busca de un arado cuya superficie no quedara embotada cada pocos pasos. Un día del año 1837 decidió probar con un nuevo material. La hoja de una vieja sierra le proporcionó el acero necesario para fabricar el cuerpo de un arado ligero y extremadamente pulido y, tal y como John Deere pensaba, la prueba del nuevo apero fue definitiva: el suelo arcilloso ya no se adhería, sino que resbalaba perfectamente sobre la superficie del arado sin producir atascos. Así es cómo John Deere fabricó el primer arado auto-limpiable (Figura 3), que hizo posible el cultivo en las fértiles praderas de Norteamérica. De esta manera, y gracias a los pedidos que de esta primera prueba se fueron sucediendo, fue fundada la compañía John Deere, en 1837.

Pocos años después John Deere ya atendía más de 1.000 pedidos de arados al año en su primera factoría, creada en Moline (Illinois), hasta donde importaba de Inglaterra acero de calidad para sus arados. Su nombre era asociado con aperos de la máxima calidad y de altísima productividad.



Figura 3: Primer arado auto-limpiable fabricado por John Deere

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.2. El cliente, el desarrollo y la calidad: Un objetivo constante

John Deere fue un hombre de negocios ejemplar con una visión industrial claramente adelantada a su época. Así lo demuestra su perseverancia en el desarrollo de nuevos productos, su esfuerzo por satisfacer las necesidades de los clientes y su continua búsqueda del máximo nivel de calidad. Estos tres principios empezaron a aplicarse de forma generalizada en el mundo occidental un siglo más tarde y aún hoy, 175 años después, mantienen su vigencia.

Estos tres pilares han sido la base firme sobre la que se gestó el desarrollo de Deere & Company en sus más de 170 años de historia y hoy en día siguen constituyendo el objetivo de su filosofía empresarial. Actualmente la compañía continúa guiándose, como lo había estado haciendo desde sus inicios, a través de los valores principales ya expuestos por su fundador: integridad, calidad, compromiso e innovación. Se usa como referente de calidad la siguiente frase, a la vista de todos los trabajadores en cada una de las fábricas y centros de operaciones John Deere (Figura 4):

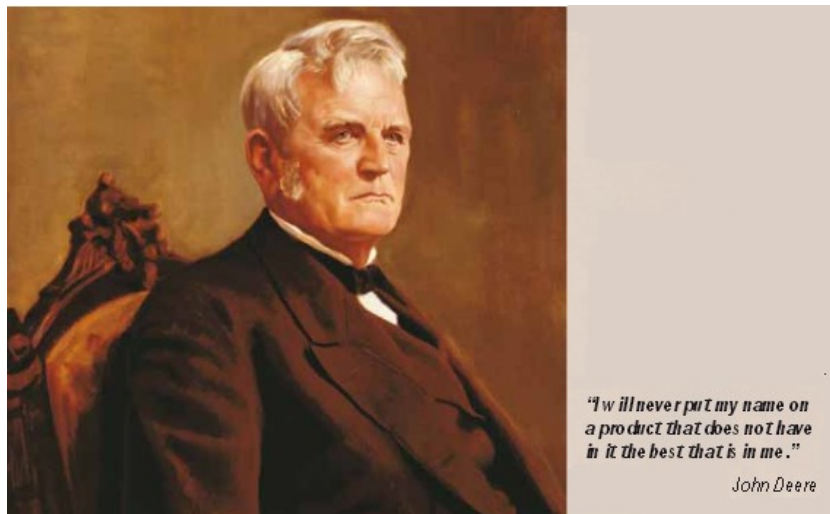


Figura 4: John Deere

"I will never put my name on a product that does not have in it the best that is in me" (John Deere, 1837)

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.2.1. Del arado de 1837 a los satélites del siglo XXI.

En 1846 John Deere cambia su ciudad de residencia a Moline (Illinois) para facilitar el transporte fluvial del acero laminado que desde 1843 importaba desde Inglaterra. Desde entonces hasta hoy la sede central de la compañía se encuentra en dicha ciudad.



Figura 5: John Deere “Waterloo boy” 1914

Hasta 1914 la compañía fue ampliando progresivamente sus líneas de productos llegando a cubrir una amplia variedad de aperos para la agricultura. En dicho año Deere & Company lanza su primer tractor (Figura 5), el *Waterloo Boy*, que montaba un motor de la compañía *Waterloo Gasoline Traction Engine Company*. Dicha compañía fue adquirida por Deere & Company en el año 1918, y supuso el inicio de las actividades de fabricación de motores John Deere. Desde aquel momento los tractores y los motores John Deere han sido dos de los productos más emblemáticos de la compañía.

La diversificación de actividades siguió siendo en el Siglo XX un factor determinante. En 1920 se empieza la comercialización de equipos ligeros de obras públicas, que llevaron en 1958 a la creación de la división industrial de Deere & Company. En dicho año se crea también *John Deere Credit*, la división de la compañía destinada a financiar la adquisición de equipos por parte de los clientes. La línea amarilla, como se conoce a la división de equipos industriales, crecería más adelante con los equipos de explotaciones forestales, sector en el que John Deere hoy destaca como líder mundial.

Las operaciones de Deere & Company, que hasta los años 50 habían estado concentradas en el territorio norteamericano, experimentan un tremendo crecimiento cuando la compañía decide abrir mercados hacia Europa y Sudamérica. En 1956 se crea la división de actividades de ultramar y, con la adquisición de las fábricas y otras instalaciones de la marca Lanz, se inician las actividades en el continente europeo. Al mismo tiempo se extienden las actividades hacia el sur creando la fábrica de John Deere en Monterrey (México). En 1959 se inician las actividades en el continente australiano.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Esta acertada política de expansión condujo a John Deere a convertirse en el mayor fabricante mundial de maquinaria agrícola, condición que ha mantenido con orgullo desde entonces. En el año 1963 se inicia la actividad en el mercado de equipos para el cuidado de parques y jardines, y en el año 1987 se empiezan a comercializar equipos para campos de golf, actividad en la que, tras muy pocos años de funcionamiento, John Deere se coloca como líder del mercado.

Durante los años 90 la actividad de John Deere ha continuado con su imparable ritmo de crecimiento. Se ha creado una división de nuevas tecnologías encaminada a diseñar y desarrollar soluciones que permitan a sus clientes aprovechar al máximo herramientas de última generación como internet o el posicionamiento global por satélites (GPS) (Figura 6). El trabajo de este grupo, ha permitido a John Deere tener en funcionamiento más de 200 aplicaciones en internet para sus empleados, concesionarios, proveedores y clientes, y disponer de uno de los sistemas más avanzados de agricultura de precisión apoyada en la localización vía satélite. Por otro lado, la expansión geográfica de la empresa tampoco se ha frenado, y la apertura de nuevas fábricas en India y Turquía, y la expansión hacia países con un alto potencial de crecimiento como China, son prueba de ello.

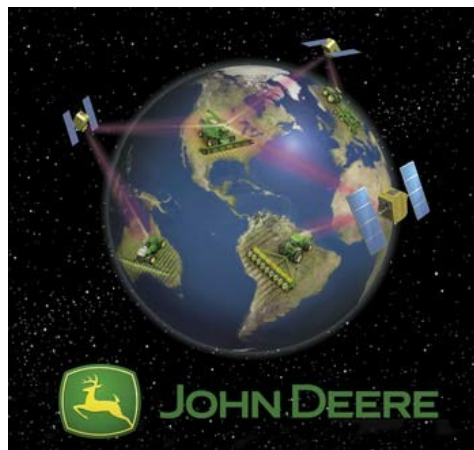


Figura 6: John Deere GPS Sistema de guiado

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Desde la creación del primer arado y su anuncio en la prensa, el logo de Deere & Company ha ido evolucionando (Figura 7) a lo largo de sus 175 años de historia. Hoy en día es uno de los más conocidos gracias a su color y al ciervo que se ha convertido en un icono.



(1854)



(1955)



(1876-1912)



(1912-1936)



(1936-1937)



(1937-1950)



(1950-1956)



(1956-1968)



(1968-2000)



JOHN DEERE

(2000-...)

Figura 7: Evolución de los logos comerciales de John Deere desde sus comienzos en 1854

2.3. John Deere, reconocimiento público

Entre algunos de los reconocimientos en el mundo empresarial que John Deere ha tenido en los últimos años destacan:

- ❖ 2009: Clasificada entre las 50 compañías más admiradas en el mundo en un estudio publicado por la revista Fortune.
- ❖ 2009: Reconocida como una de las mejores empresas empleadoras por los lectores de la revista Minority Engineer y The Black Collegian.
- ❖ 2009: Clasificada segunda en la lista “Los 50 mejores empleadores” por los lectores de la revista Careers & The Disable.
- ❖ 2008: Clasificada como la empresa más admirada en la categoría de Equipos Industriales y Agrícolas por la revista Fortune.
- ❖ 2008: Se incluye el Presidente y Consejero Delegado Robert Lane en la lista de Barron, “The World’s Best CEOs” (Los Mejores Consejeros Delegados del Mundo).
- ❖ 2008: Clasificada en 4º puesto en la lista de la revista CRO “100 Best Corporate Citizens” (100 Mejores Ciudadanos Corporativos).
- ❖ 2008: Elegida otra vez por la revista Ethisphere Magazine para su segunda lista anual de “Las 100 Empresas Más Éticas del Mundo”.
- ❖ 2007: Robert Lane figura en la lista de los 20 mejores líderes, elegidos por la revista Business Week y sus lectores.
- ❖ 2007: Robert Lane recibe el Galardón Chicago United Bridge, por su labor a favor de la diversidad multirracial en la dirección corporativa.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.4. Inicios de John Deere Ibérica S.A.

La historia de John Deere Ibérica, S.A. comienza en la segunda mitad de los 50, cuando Deere & Company adquiere la marca alemana Lanz con el claro objetivo de iniciar su expansión en el continente europeo.

En dicha adquisición entró la fábrica de tractores que Lanz Ibérica tenía situada en el madrileño municipio de Getafe. En Getafe se producían los reconocidos tractores LANZ BULLDOG (Figura 8), y desde entonces se destinó a la producción de tractores para el mercado español. Así, en 1963, salió de la cadena de montaje el primer tractor John Deere fabricado en España, una unidad del modelo JD 505 (Figura 9).



Figura 8: Lanz Bulldog 1956



Figura 9: John Deere Tractor modelo 505 de 1963

Con el transcurso de los años, John Deere Ibérica fue produciendo las distintas series de tractores de John Deere: La Serie 10, la Serie 20 (1969), la Serie 30 (1973), la Serie 35 (1975), la Serie 40 (1980) y, finalmente, la Serie 50 (1987). Los tractores John Deere, así como todos los productos de la marca fueron demostrando día a día su calidad a los agricultores españoles y por tanto aumentando su prestigio, por lo que ya en el año 1972 encabezaba las listas del mercado de cosechadoras y empacadoras.

Dos años más tarde aumentaba el liderazgo y John Deere encabezaba por primera vez el mercado de tractores de ruedas en España, posición de líder que ha logrado mantener año tras año desde entonces. En el año 1987 se diversifica la actividad de la fábrica y, además de tractores, empiezan a producir componentes para las cadenas de montaje de Deere & Company. Para aprovechar las oportunidades que brinda la apertura de mercados europeos, en el año 1992 se decide centralizar la producción de los tractores de la nueva Serie 6000 en la factoría de Mannheim (Alemania). De esta forma, y dos años más tarde, sale de John Deere Ibérica el tractor nº 181.558, una unidad JD 2650 MA, último tractor que hasta hoy se ha producido en sus instalaciones.

Desde ese momento la fábrica queda destinada a la fabricación de componentes para el resto de las fábricas de Deere & Company en el mundo. Gracias a la excelente calidad de sus productos, John Deere Ibérica ha adquirido una posición de especial relevancia en el organigrama industrial de Deere &

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Company, y hoy por hoy miles de máquinas vendidas en todo el mundo llevan componentes montados en sus líneas de producción.

En el año 1988 la actividad de la unidad comercial de John Deere Ibérica pasa a formar parte de la nueva división de Espacios Verdes. La responsabilidad de esta nueva división, destinada en un principio a la comercialización de productos para el cuidado de jardines, se amplía en el año 1992 cuando se introducen en España los productos John Deere para el cuidado de campos de golf.

Otro momento clave de la compañía en España fue la apertura del Centro de Formación John Deere, en Toledo, en el año 1989. A él asisten anualmente más de 1.000 personas a los distintos programas de formación que se imparten tanto a empleados y concesionarios, como a clientes y estudiantes de escuelas agrarias.

En 1994 John Deere Ibérica, que hasta entonces operaba sólo en España, extiende su área de responsabilidad para productos agrícolas al territorio portugués. Desde entonces ha crecido de forma continua la penetración de John Deere en los distintos sectores del mercado portugués en los que participa, y todo gracias al esfuerzo y dedicación de los profesionales que forman la red comercial de John Deere Portugal.

2.5. Actualidad de John Deere Ibérica S.A.

John Deere Ibérica es la filial de Deere & Company en España y Portugal, donde comercializa productos agrícolas y para el cuidado de espacios verdes y campos de golf. Su sede social se ubica en Getafe (Madrid), donde la compañía dispone de una fábrica de componentes de maquinaria (Figura 10). En el año 2010 el departamento Comercial se trasladó a unas nuevas instalaciones en Parla.



Figura 10: Vista aérea John Deere Ibérica S.A. Getafe

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

John Deere Ibérica ocupa actualmente el primer puesto en venta y fabricación de equipos de maquinaria agrícola en España. Su liderazgo se extiende también al mercado de tractores de ruedas, sector que ha encabezado ininterrumpidamente desde 1974.



Figura 11: Maquinaria en la entrada de John Deere Ibérica S.A. Getafe

La factoría española cuenta con los más modernos equipos e instalaciones para la fabricación y montaje de componentes de maquinaria agrícola, siendo el mayor suministrador de equipos en el mercado nacional (Figura 11). La totalidad de la producción tiene como destino otras factorías de la compañía en Alemania, Francia, EE.UU., Argentina, México y Brasil, lo que incluye a John Deere Ibérica, S.A. entre las 160 primeras empresas exportadoras de nuestro país.

Las instalaciones de la factoría ocupan una superficie cubierta de 60.000 m² sobre un área total de unas 20 hectáreas de parcela. La fábrica, en la que trabajan cerca de 800 personas, está constituida por cuatro divisiones de producción especializada que incluyen diversos componentes y conjuntos de alta calidad. Estas divisiones de producción están ubicadas en cuatro mini fábricas correspondientes y son: *Ejes y Engranajes*, *Cajas Ligeras de Transmisión*, *Cajas Pesadas de Transmisión* y *Mandos Finales*. Cada una de las mini fábricas se divide a su vez en varias células de fabricación (en el caso de mecanizado de *Ejes y Engranajes*) y montaje (para el caso de *Cajas Ligeras*, *Cajas Pesadas* y *Mandos Finales*).

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.6. Productos John Deere Ibérica S.A.

Para dar a conocer los tipos de productos que fabrica John Deere Ibérica en sus instalaciones de Getafe se describirán las mini fábricas por separado: Ejes y Engranajes, Mandos Finales y Enganches Tripulantes, Cajas Ligeras de Transmisión y Cajas Pesadas de Transmisión. Cada tipo de producto es fabricado en una nave especialmente acondicionada.

2.6.1. Ejes y engranajes

El área de producción de ejes y engranajes fabrica piezas vitales para las divisiones de cajas de transmisión y engranajes de distribución de los motores de John Deere que se producen en Dubuque y Waterloo (EEUU), Saran (Francia), Torreón (Méjico) y Rosario (Argentina).

La materia prima son piezas de forja y aceros de alta calidad, y la clave de la fabricación de estos componentes se basa en una mecanización de precisión, minuciosidad en los procesos de tratamiento térmico y un control de calidad continuo y riguroso (Figura 12).



Figura 12: Ejes y engranajes

2.6.2. Mandos finales y enganches tripulantes

La producción especializada de mandos finales (Figura 13) está destinada a satisfacer la demanda de las factorías de tractores de Harvester; Dubuque; Davenport y Des Moines (EEUU) y Zweibruecken (Alemania) y la de enganches tripulantes para tractores de muy diversa potencia de las factorías de tractores de Mannheim (Alemania), Augusta (EEUU), Saltillo (Méjico) y Horizontina (Brasil).



Figura 13: Mandos finales.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.6.3. Cajas pesadas de transmisión

Se denominan cajas pesadas de transmisión (Figura 14) a aquellas cuyo peso excede los 100 kg, o aquellas que necesitan pasar por pintura, ya que la mini fábrica de Cajas Pesadas tiene línea propia de pintura. La factoría de Getafe produce una amplia variedad de cajas de transmisión y mandos finales para máquinas cosechadoras de cereales algodón y forraje, producidas en Harvester y Desmoins (EEUU), Zeibruecken (Alemania) y Brasil.



Figura 14: Cajas pesadas

2.6.4. Cajas ligeras de transmisión

Se denominan cajas ligeras de transmisión (Figura 15) a aquellas cuyo peso es inferior a los 100 kg, o aquellas que no serán pintadas, ya que no hay línea de pintura en Cajas Ligeras. Las cajas ligeras de transmisión se montan en segadoras y tractores para espacios verdes, empacadoras, tractores agrícolas, maquinaria de siega y maquinaria de construcción.



Figura 15: Cajas ligeras

3. UNIÓN ATORNILLADA

3.1. Relación entre par aplicado y fuerza de amarre

En una unión atornillada no todo el par aplicado se convierte en fuerza de amarre del tornillo, sino que gran cantidad de éste se pierde en forma de calor (Figura 16).

- Entre el 45 y el 50% del par aplicado se disipa mediante fricción bajo la cabeza del tornillo.
- Entre el 35 y el 40% se disipa en el rozamiento de la rosca.
- Entre el 10 y el 20% restante se convierte en fuerza de amarre.

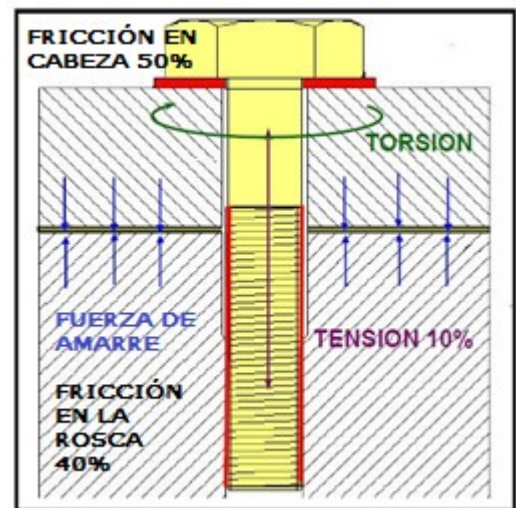


Figura 16: Fuerza de amarre y fricción

Es destacable que la fuerza de amarre se consiga únicamente con entre el 10 y el 20% del par aplicado.

Durante el apriete, el tornillo sufre una tensión determinada. Esta tensión está formada por la Torsión debida al momento torsor que se le aplica en la cabeza al apretarlo y la Tracción que sufre el cuerpo debido al axil transmitido por la rosca al avanzar (Figuras 17 y 18).

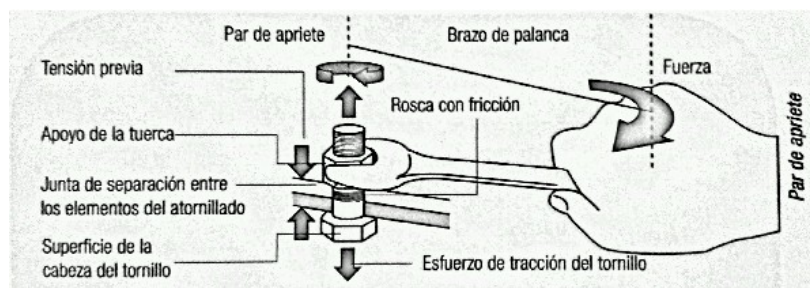
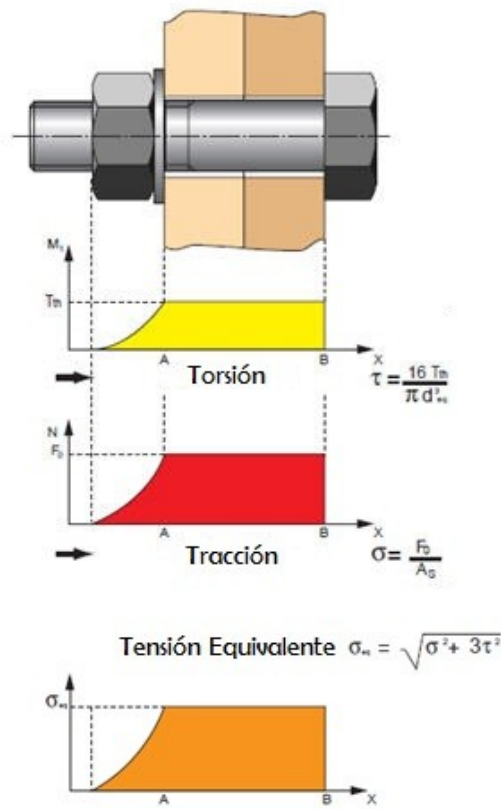


Figura 17: Fuerzas que intervienen a la hora de apretar un tornillo o tuerca

3. UNIÓN ATORNILLADA



La tensión provocada por la Torsión se calcula mediante la ecuación (1)

$$\tau = \frac{16 \cdot T_m}{\pi \cdot d^3} \quad \left[\frac{N}{mm^2} = MPa \right] \quad (1)$$

T_m es el momento torsor [en $N \cdot mm$]

d es el diámetro del tornillo [en mm]

La tensión provocada por el esfuerzo de Tracción se calcula con la ecuación (2):

$$\tau = \frac{F_0}{A_s} \quad \left[\frac{N}{mm^2} = MPa \right] \quad (2)$$

F_0 es el esfuerzo axial de tracción [en N]

A_s es el área sobre la que actúa el esfuerzo axial [en mm^2]

Figura 18: Tensión equivalente durante el apriete

La tensión equivalente de Von Mises se calcula a través de la ecuación (3) :

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad [MPa] \quad (3)$$

Las uniones atornilladas se usan para soportar cargas como las que se muestran a continuación (Figura 19).

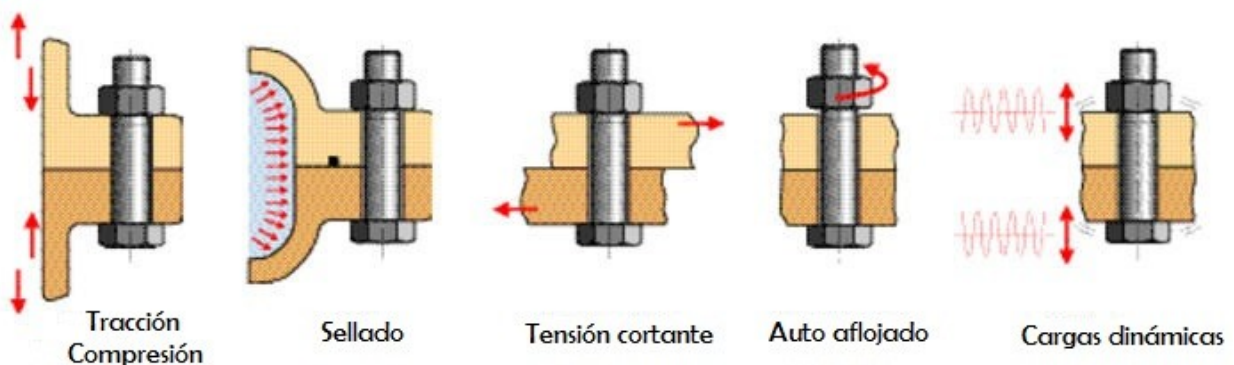


Figura 19: Cargas típicas que soportan las uniones atornilladas

3. UNIÓN ATORNILLADA

Como se ha observado anteriormente, la fricción juega un papel muy importante a la hora de analizar una unión atornillada, por eso es necesario tener claros los efectos que el rozamiento tiene sobre la tensión.

Existen tablas para una orientación (quizás un tanto subjetiva) sobre el coeficiente de fricción a utilizar para el cálculo o análisis de uniones (Tabla 1).

Tabla 1: Coeficientes de fricción. Seco vs. Ligeramente lubricado

Tratamiento superficial Tornillo	Tratamiento Superficial Tuerca	Seco	Ligeramente lubricado
Sin tratar	Sin tratar	0,18-0,35	0,14-0,26
Recubierto Fósforo	Sin tratar	0,25-0,40	0,17-0,30
Chapado Zinc	Sin tratar	0,11-0,36	0,11-0,20
Recubierto Fósforo	Recubierto Fósforo	0,13-0,24	0,11-0,17
Chapado Zinc	Chapado Zinc	0,18-0,42	0,13-0,22

Se puede observar que, dependiendo de la lubricación, la dispersión de la tensión es considerable para un mismo valor de par aplicado (Figura 20).

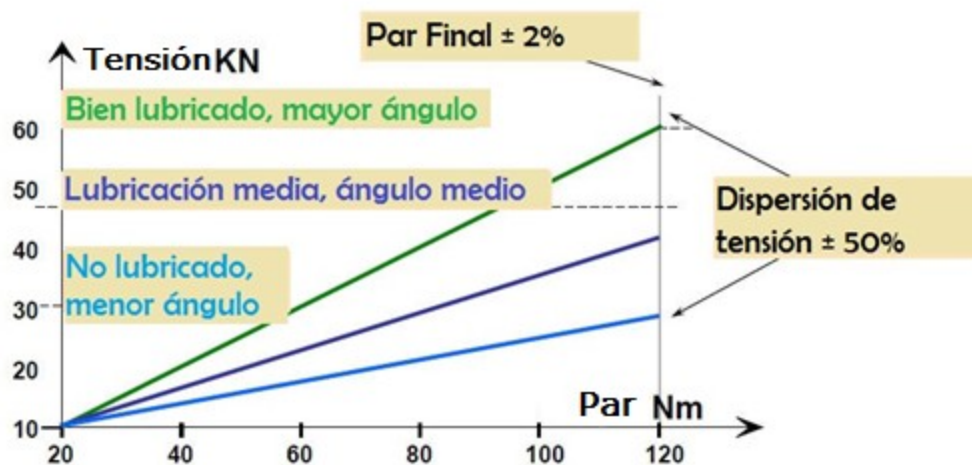


Figura 20: Tensión vs. Par debido a lubricación

Es importante darse cuenta de que hay poco control del par si el resto del proceso no se controla.

3. UNIÓN ATORNILLADA

3.2. Par de apriete necesario para una fuerza de amarre deseada

Como primera aproximación para el cálculo del par de apriete se puede utilizar la siguiente expresión:

$$T = K \cdot D \cdot F \quad [\text{N.m}] \quad (1)$$

Siendo:

T - Par de apriete [N·m]

K - Coeficiente de apriete tabulado (depende de las rugosidades de los elementos y del nivel de lubricación)

D - Diámetro nominal del tornillo [m]

F - Fuerza de amarre deseada [N]

Es necesario que haya un par mínimo requerido, teniendo en cuenta que:

- La fuerza de amarre tiene que ser mayor que las cargas externas
- Márgenes de seguridad para tener en cuenta
 - vibraciones
 - variación de fricción
 - dimensiones y el material
 - ajuste de precisión

Como hay un límite inferior de par, se hace necesario un límite superior.

- El límite lo marca el material del tornillo: se estira o rompe cuando se alcanza el límite elástico o el de resistencia última respectivamente.
- El material a unir también influye ya que en ocasiones se rompe primero. (En uniones de aleaciones de aluminio es común).

3. UNIÓN ATORNILLADA

3.3. Comportamiento

El comportamiento de una unión atornillada es muy complejo ya que influyen en ella cientos de variables, de las cuales la gran mayoría son incontrolables.

No es un comienzo muy halagüeño para este tipo de uniones, tan extensa y tan importante en la industria del automóvil y sobre todo de las construcciones industriales, pero poco a poco se verá que la tecnología ha ido avanzando para controlar buena parte de lo que ocurre en una unión atornillada y así tener confianza a la hora de realizarla con garantías.

Bien es cierto también, que las uniones atornilladas de las que dependen vidas humanas se diseñan con márgenes de seguridad que anulan todas las incertidumbres posibles.

3.3.1. Clasificación de variables que afectan al comportamiento y/o resultados del ensamblaje de uniones atornilladas

Debe ser resaltado que la mayoría de las listas que a continuación se describen están incompletas ya que las variables son muy extensas, pero quizás puedan servir como punto de partida.

Los grandes grupos de variables podrían ser:

- i. Tornillo
- ii. Junta
- iii. Herramienta de ensamblaje
- iv. Proceso de ensamblaje
- v. Relajación post – ensamblaje
- vi. Cargas en servicio y factores ambientales

La confiabilidad es el nivel de certeza de que el apriete se ha llevado a cabo de forma correcta y se compone de: Cargas Iniciales + Estabilidad = $L + S$

Siendo:

- Cargas Iniciales L = Variables i, ii, iii y iv
- Estabilidad S = Variables v y vi

A continuación se describen las variables una a una, indicando los factores que influyen en el buen devenir de la unión atornillada.

3. UNIÓN ATORNILLADA

- i. Tornillo: Mediante la aparentemente simple selección de un tornillo particular, se añaden muchos parámetros que afectan al comportamiento de la unión. La gran mayoría de esos parámetros están en el siguiente listado.
- Factores de material:
 - Tipo de material.
 - Resistencia
 - Estática
 - Límite elástico
 - Última
 - Dinámica
 - Límite de resistencia
 - KIC (critical stress intensity)
 - Respuesta a altas o bajas temperaturas
 - Coeficiente de expansión
 - Cambios en el módulo y resistencia
 - Relajación de tensión
 - Deslizamiento
 - Dureza
 - Factores de forma:
 - Roscas
 - Paso
 - Perfil
 - Diámetro de rosca
 - Diámetro nominal
 - Acabado
 - Longitud
 - Detalles de descentramiento
 - Longitud de roscado
 - Perpendicularidad
 - Cabeza y cuerpo de tornillo
 - Rosca y cara de tuerca
 - Rigidez
 - Superficies:
 - Acabado
 - Chapado (muchas variables)
 - Revestimiento: Aceitado, micro encapsulado, (muchas variables)

3. UNIÓN ATORNILLADA

- Características especiales:
 - Hay muchos tipos de aseguradores especiales, cada uno con sus propias variables.
 - Aseguradores con límite de par (secciones de desenrosque)
 - Aseguradores resistentes a la vibración
 - Rápida aproximación
 - Par permanente
 - Aseguradores resistentes a la fatiga (formas, materiales y acabados especiales)
 - Arandelas con indicadores de carga
 - Aseguradores con indicadores de carga (brida de cabeza ondulada)

- ii. Junta: Las características de una determinada junta aportan parámetros que afectan a los resultados de ensamblaje y al comportamiento de la misma.
 - Factores de Material:
 - Tipo de material.
 - Resistencia
 - Estática
 - Dinámica
 - Respuesta a altas o bajas temperaturas
 - Dureza
 - Resistencia a la corrosión

 - Configuración:
 - Dimensiones
 - Peso
 - Forma
 - Cónica
 - Circular
 - Rectangular
 - Etc.
 - Rigidez

 - Superficies:
 - Acabado
 - Recubrimiento o revestimiento

3. UNIÓN ATORNILLADA

- Agujeros:
 - Tamaño
 - Acabado
 - Avellanado o no
 - Agujeros roscados o pasantes
 - Condiciones de los elementos de la junta
 - Nuevo o usado
 - Dañado
 - Agrietado
 - Rectificado
 - Reparado
 - Deformado
 - Superficies contaminadas (pintadas, etc.)
- iii. Herramientas de ensamblaje: La elección de la herramienta ciertamente afecta muy directamente a los resultados del ensamblaje. La precisión es fundamental, así como el buen estado de la herramienta y por supuesto el buen uso que se haga de ella.
- Parámetros de herramienta:
 - Tipo de herramienta
 - Fuente de energía
 - Manual
 - Aire comprimido
 - Hidráulica
 - Eléctrica
 - Presión, flujo, voltaje, etc. disponibles
 - Tipo de control
 - Ninguno
 - Dispositivo para regular potencia entrante (controlando presión, flujo, corriente, etc.)
 - Salida simple (embragues, sobrecargas, alarmas, etc.)
 - Dispositivos de monitorización (par, ángulo, etc.)
 - Dispositivos transductores que usan la información para controlar la herramienta (par, ángulo, etc.)

3. UNIÓN ATORNILLADA

- Dispositivos para sentir la tensión del tornillo
 - Arandelas con indicación de carga
 - Células de carga
 - Medidores
 - Micrómetros
 - Tornillos de tensión calibrada
 - Ultrasonidos
 - Capacidad de la herramienta
 - Par máximo
 - Tensión máxima
 - Velocidad de la herramienta
 - Repetibilidad de la herramienta
 - Manejabilidad
 - Tamaño
 - Peso
 - Salida continua o por pulsos
 - Impactos o no impactos
- Estado de la herramienta:
 - Calibración
 - Desgaste
 - Estado de los conectores, etc.
 - Acoplamiento de la herramienta a la tuerca o tornillo
 - Uso de las herramientas:
 - Calidad de la fuente de alimentación (aire comprimido, hidráulica, etc.)
 - Parámetros de control seleccionados
 - Porcentaje de rendimiento
 - Cómo está definido (par, presión, etc.)
 - Tolerancias del diseño de la junta ($\pm X\%$)
 - Factores del operario
 - Nivel de habilidad
 - Entrenamiento
 - Supervisión
 - Cautela
 - Ambiente del ensamblaje (calor, luz, lluvia, seguridad, etc.)

3. UNIÓN ATORNILLADA

- iv. Proceso de ensamblaje: Es conveniente seguir un proceso de ensamblaje determinado para garantizar que todos los elementos ajustan correctamente y no hay zonas débiles que se puedan ver afectadas.
- Procedimiento de apriete: Hay que ver qué tornillos se aprietan primero para que los elementos de la unión queden bien fijados, pudiendo darse la necesidad de reapretar los primeros.
 - Unión pre-ajustada o no
 - Qué tornillo se aprieta primero
 - Secuencia de apriete de los tornillos restantes
 - Número de aprietes simultáneos
 - Número de aprietes o reaprietes
 - Límites de par en cada unión
 - Tornillos apretados continuamente o con alguna parada
 - Tornillos apretados desde la cabeza
 - Preparación del tornillo y de la junta: Para que los elementos ajusten correctamente es necesario prepararlos antes de su utilización. Es común utilizar un limpiador / activador antes de aplicar cualquier sellante.
 - Limpieza
 - Reprocesado
 - Lubricado
 - Tipo
 - Cantidad
 - En qué superficie
 - Cómo se aplica
 - Sellantes
 - Tipo
 - Cantidad
 - Dónde se aplica
 - Cómo se aplica

3. UNIÓN ATORNILLADA

- Arandelas: Se usan como separadores, como dispositivos indicadores de precarga, como bloqueadores o bien como reductores de vibración. Se pueden encontrar tanto bajo la cabeza del tornillo como entre la tuerca y el elemento a unir.
 - Tipo
 - Dureza
 - Recubrimiento o revestimiento
 - Dónde se usa
- Inter-relación entre las partes:
 - Ajuste
 - Perpendicularidad
 - Paralelismo
 - Planicidad
 - Alineamiento
 - Separación
 - Interferencias
 - Longitud de rosca
- Tipos de tensión y esfuerzos creados en tornillos y uniones durante el ensamblaje:
 - Tensión
 - Compresión
 - Torsión
 - Cizallado
 - Flexión
 - Esfuerzo elástico o plástico (o ambos)
- Absorción del trabajo de la herramienta y del operario: El operario, con la herramienta, hace un trabajo que se aplica a la unión. Este trabajo puede ser absorbido por el ensamblaje en muchos sentidos. (Se desea que todo se convierta en energía potencial en la junta, pero esto nunca es así).
 - Tensión y esfuerzo en tornillo (incluyendo elongación, torsión, flexión)
 - Tensión y esfuerzo en miembros de la unión
 - Pérdida de fricción entre elementos
 - Alineamiento en elementos desalineados
 - resistencia e interferencias entre las piezas
 - previsto (par resistente, tornillos resistentes a la vibración)
 - imprevisto (interferencia entre tornillo y alojamiento)

3. UNIÓN ATORNILLADA

- v. Relajación post-ensamblaje: Es normal que las juntas después de la unión sufran el fenómeno conocido como relajación. Se debe principalmente a la relajación debida a los esfuerzos elásticos de los materiales.
- Tipos de carga (masa, inercial, térmica, etc.)
 - Dirección de las fuerzas
 - Paralela a los ejes del tornillo
 - Perpendicular a los ejes del tornillo
 - Combinación de ambas
 - Dinámica de cargas
 - Estática
 - Impactos o choques
 - Variantes
 - Cíclica
 - Intermitente
 - Sujeto a cambios
 - Vibraciones
 - Magnitud de fuerzas
 - Cargas no intencionadas
 - Sísmicas
 - Accidentales
 - Malfuncionamiento del sistema
 - Punto de aplicación de las cargas
 - Axial
 - Excéntrica
 - Palanca
 - Ubicación del plano de carga

3. UNIÓN ATORNILLADA

- Factores térmicos
 - Temperaturas de operación
 - Temperaturas dinámicas
 - Estado Estacionario
 - Fluctuante
 - Ratio de cambio
 - Distribución de temperaturas
 - Cambios dimensionales
 - Tornillos
 - Elementos de la unión
 - Deslizamiento
 - Tornillos
 - Elementos de la unión
 - Juntas
 - Cambio de propiedades
 - Módulo de elasticidad
 - Resistencia de los materiales
 - Resistencia a la corrosión
 - Coeficientes de fricción
 - Módulo de cizalladura
 - Relajación de tensión

vi. Factores ambientales: Cualquier tipo de fenómeno ambiental puede ser susceptible de variar la fuerza de anclaje de una unión atornillada.

- Corrosivos
- Químicos
- Nucleares
- Exposición

Por todo esto, los pares de apriete pueden sufrir cambios. Es conveniente hacer verificaciones tanto de herramientas como de tornillos ya apretados cada cierto tiempo. Los encargados de esta tarea serían Producción y Auditorías respectivamente.

3. UNIÓN ATORNILLADA

3.4. Estabilidad

La función principal de la mayoría de los pernos es unir dos o más elementos para que queden bien sujetos. Algunos pernos además pueden actuar como pasadores de seguridad.

La unión atornillada es similar a un sistema de muelles (Figura 21), un hecho que influye fuertemente en su comportamiento. Tanto la energía que se almacena como la distribución de tensiones se distribuyen de manera no uniforme.

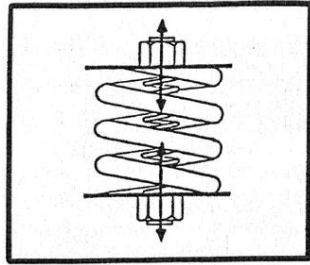


Figura 21: Símil Unión Atornillada vs. Sistema de muelles

Por eso mismo la unión atornillada no es un sistema estable. Muchos de los efectos a corto y largo plazo cambian la distribución de la energía almacenada (y la tensión) en el sistema (cargas externas, empotramiento, relajación de tensión, histéresis en la junta, deslizamientos, interacciones de elásticas, efectos térmicos, auto-aflojamiento, etc.).

El comportamiento y la vida de las uniones atornilladas dependen de la magnitud y estabilidad de la fuerza de sujeción ejercida por los pernos que la hacen posible.

Cuestiones clave para los diseñadores y montadores son:

- ¿Cuánta fuerza de sujeción se quiere en esta junta?
- ¿Cuánta fuerza de sujeción se espera alcanzar durante el montaje?
- ¿Cuánto cambiará la fuerza de sujeción a lo largo del tiempo, en el servicio, bajo carga, con cambios de temperatura, etc.?

En general, se busca la máxima fuerza de sujeción que esas partes puedan soportar (teniendo en cuenta las cargas estáticas y dinámicas, efectos de edad, etc.)

Se desea también que la fuerza de sujeción tornillo a tornillo y/o junta a junta sea lo más uniforme posible.

3. UNIÓN ATORNILLADA

3.5. Modos de fallo

El objetivo principal cuando se estudian las uniones atornilladas es evitar o reducir al máximo el "fallo". El "fallo" se produce cuando los tornillos no ejercen ninguna fuerza de sujeción (están rotos o simplemente no están) o cuando la fuerza de sujeción es incorrecta (demasiado apretado o demasiado flojo) en la junta.

3.5.1. Introducción de los modos de fallo

Listado de fallos más comunes en uniones atornilladas:

- Tornillos rotos
 - Sobretensión
 - Corrosión
 - Fatiga
- Falta de tornillos
 - Auto afloje
 - Vibraciones
 - Cambio térmico
 - No colocación
- Tornillos mal apretados
 - Mal diseño
 - Mal ensamblaje
 - Relajación
 - Interacción elástica
 - Efectos térmicos
 - Auto afloje
- Poca fuerza de amarre
 - Deslizamiento
 - (Fretting)
 - Aflojamiento
 - Fugas
 - Fatiga
- Demasiada fuerza de amarre
 - Unión dañada
 - Tornillos rotos
 - SCC
 - Fatiga
- Cizallamiento
 - Fácil de evitar
 - No está causado por pretensiones malas

3. UNIÓN ATORNILLADA

3.5.2. Condiciones esenciales

Las condiciones esenciales son las causas por las que existen los mecanismos básicos de fallo. Como condiciones esenciales se pueden nombrar las siguientes:

- Fallo mecánico (tensiones cortantes / cizalladura) (Figura 22)



Figura 22: Señal de cizalladura

- Seguimiento del estrés (SCC [Stress Corrosion Cracking], fragilizado por H₂, etc.) (Figura 23)

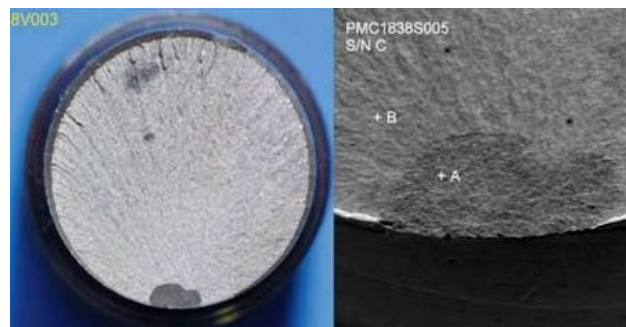


Figura 23: Fragilidad por H₂

- Fatiga (del tipo dúctil /frágil con playas) (Figura 24)

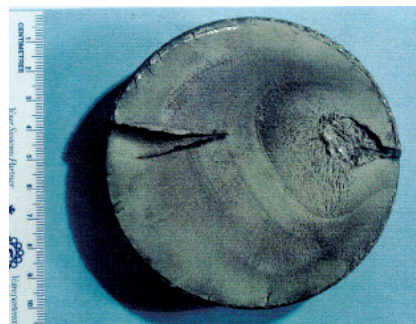


Figura 24: Fractura por fatiga

3. UNIÓN ATORNILLADA

- Auto-aflojamiento (vibración, térmicas, etc.) (Figura 25)

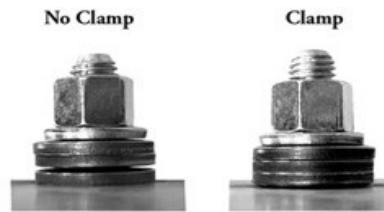


Figura 25: Tuerca floja

- Corrosión (Figura 26)



Figura 26: Corrosión

Cada modo de fallo se compone por entre unas 2 y 4 de esas "condiciones esenciales". Si se elimina cualquiera de ellas se podrá eliminar ese tipo de fallo.

Muchos factores diferentes, por desgracia, son capaces de activar las "condiciones esenciales". La eliminación de todos ellos por lo tanto, puede ser una tarea complicada.

La eliminación de una "condición esencial" para un tipo de fallo concreto puede configurar otra "condición esencial" diferente para otro tipo de fallo.

Debido al gran número de variables y las incertidumbres existentes, los problemas de atornillado a menudo deben ser resueltos por riguroso ensayo y error (experimento, experiencia). La necesidad de esto se incrementa por el hecho de que la tecnología de la unión atornillada no ha seguido el ritmo de la tecnología de los productos y sistemas que los mantiene unidos (sólo hay que comparar la tecnología de "atornillado" con la tecnología de "soldadura"). Sin embargo, muchos grupos técnicos están trabajando para cambiar eso.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA EN DETALLE

Una vez descritas las variables que afectan a los elementos de las uniones atornilladas, se entrará más en detalle con cada uno de ellos.

4.1. Tornillo

El tornillo es el asegurador por excelencia.

Es un elemento mecánico cilíndrico roscado, generalmente metálico, dotado de cabeza, utilizado en la fijación de unas piezas con otras. Permite unir elementos evitando dejar espacios sin apretar como los remaches, y no se desalojan como los clavos (Figura 27).

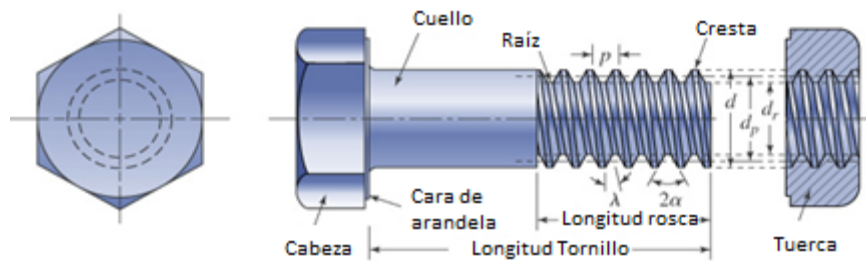


Figura 27: Anatomía del tornillo

Perfil de roscado (Figura 28):

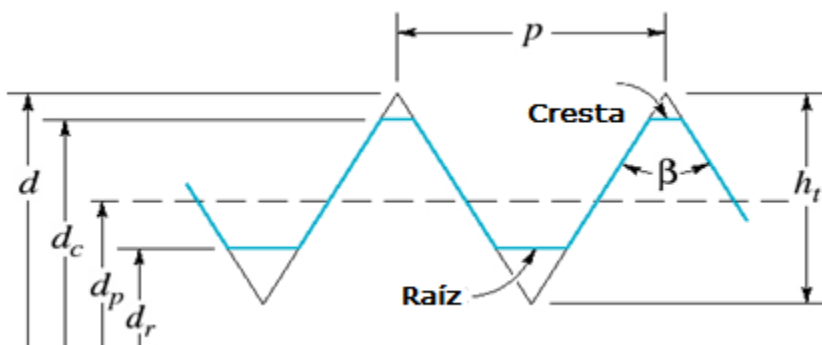


Figura 28: Perfil de roscado y parámetros esenciales.

Diámetro mayor, d .

Diámetro de cresta, d_c

Diámetro de paso, d_p

Diámetro de raíz, d_r

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.1.1. Calidad

Los tornillos tienen en su cabeza unos números grabados dependiendo de la calidad. En este caso se tiene un tornillo de calidad 10.9 (Figura 29) y su significado es el siguiente:

El primer número (10) es la centésima parte de la resistencia máxima a tracción (N/mm^2).

$$100 * 10 = 1000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

El segundo número (0.9) es la relación entre resistencia a tracción y el límite elástico.

$$0.9 = 90\%$$

Multiplicando las dos cifras se obtiene el límite elástico.

$$1000 * 0.9 = 900 \text{ N/mm}^2$$



Figura 29: Tornillo calidad 10.9

Si se coloca el tornillo en una máquina de comprobación de tensión y gradualmente se aplica una tracción pura, se obtiene la curva de tensión deformación de la Figura 30, caracterizada principalmente por 2 puntos y 2 zonas:

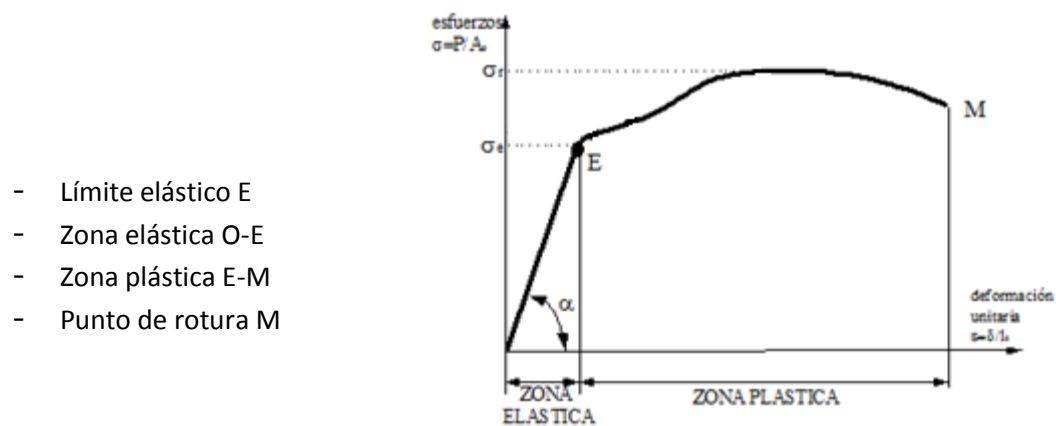


Figura 30: Diagrama Tensión - Deformación

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.1.2. Tipos de tornillos (cabezas)

Existe una gran multitud de tipos de tornillos. En la Figura 31 quedan reflejados los más comunes.

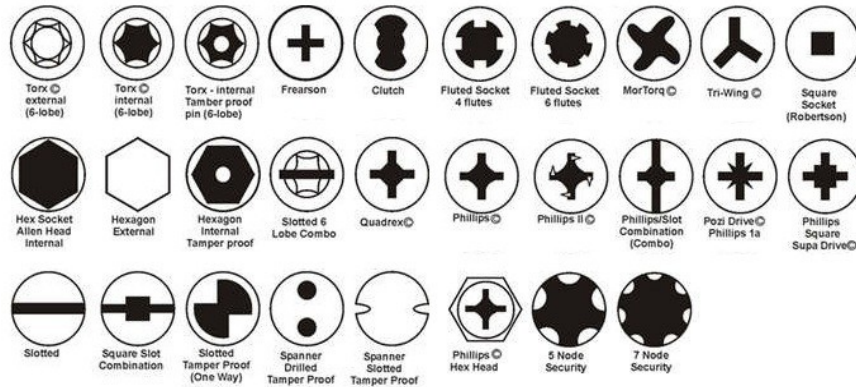
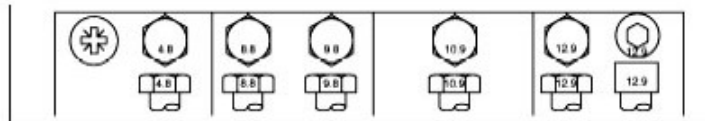


Figura 31: Tipos de tornillos (cabezas).

4.1.3. Normalización de tornillos

Tanto los tornillos como los pares de apriete recomendados por cada tipo de tornillo están tabulados y normalizados teniendo en cuenta además si el montaje se hace en seco o por el contrario la rosca lleva algún tipo de lubricante o aditivo (aceite, micro-encapsulado, Loctite, etc.) (Tabla 2).

Tabla 2: Normalización de tornillos



Tornillo	Grado 4.8				Grado 8.8 o 9.8				Grado 10.9				Grado 12.9			
	Engrasado ^a		Seco ^b		Engrasado ^a		Seco ^b		Engrasado ^a		Seco ^b		Engrasado ^a		Seco ^b	
Díámetro	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in
M6	4.7	42	6	53	8.9	79	11.3	100	13	115	16.5	146	15.5	137	19.5	172
									Nm	lb-ft	Nm	lb-ft	Nm	lb-ft	Nm	lb-ft
M8	11.5	102	14.5	128	22	194	27.5	243	32	23.5	40	29.5	37	27.5	47	35
			Nm	lb-ft	Nm	lb-ft	Nm	lb-ft								
M10	23	204	29	21	43	32	55	40	63	46	80	59	75	55	95	70
	Nm	lb-ft														
M12	40	29.5	50	37	75	55	95	70	110	80	140	105	130	95	165	120
M14	63	46	80	59	120	88	150	110	175	130	220	165	205	150	260	190
M16	100	74	125	92	190	140	240	175	275	200	350	255	320	235	400	300
M18	135	100	170	125	265	195	330	245	375	275	475	350	440	325	560	410

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.1.4. Comparación de tornillos

Como se puede apreciar, los tornillos de una calidad determinada, independientemente del fabricante de los mismos, tienen las mismas características debido a que están normalizados. Sin embargo todo esto no siempre es así y solamente ocurre cuando los tornillos pertenecen al mismo lote y al mismo fabricante. Incluso en ese caso puede haber cierto número (suele ser poco significativo) de tornillos defectuosos.

Si además de esto existen varios proveedores de tornillos, se llega a la conclusión de que para la misma aplicación existirían tantos tipos de tornillos como de lotes y de proveedores se disponga. Esto es debido a que cada proveedor los fabrica de una manera distinta, bien por el tipo de máquina y el desgaste de sus matrices, bien por la programación de la misma, bien por el material empleado o bien por los baños anteriores y posteriores a la fabricación.

Como ejemplo se pueden tomar los siguientes tornillos de métrica M10 (Figura 32).

Los tornillos de ambos proveedores se emplean indistintamente para la misma finalidad (obviamente se compran por lotes, pero puede coincidir que sean utilizados en la misma pieza de fabricación al terminar un lote y comenzar el siguiente). Si se observa bien, los tornillos no son completamente iguales.

En la Figura 32 se puede apreciar que no son del mismo color. Esta característica normalmente no se tendría en cuenta, salvo que pudiera delatar un tipo de calidad diferente, en cuyo caso habría que ver quién ha comprado esos tornillos o si ha sido una equivocación a la hora de enviarlos por parte del proveedor.



Figura 32: Tornillos de la muestra

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Aparentemente tampoco tienen la misma longitud. Esta sospecha queda aclarada tanto en la Figura 33, donde se observa que colocados sobre la misma superficie, un tornillo sobresale por encima del otro, como en la Figura 34, donde se ve que la parte inferior también varía.



Figura 33: Diferencia de altura



Figura 34: Diferencia en la parte inferior

Así y todo, no tiene por qué haber problemas a la hora de montarlos, ya que los dos tornillos cumplen con las medidas y tolerancias que se establecían en el plano de la pieza.

Con esto se pretende demostrar la cantidad de variables expuesta anteriormente.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.2. La unión atornillada

La unión atornillada se refiere a todos los elementos de la unión interactuando entre sí.

4.2.1. Tipos de uniones

Las uniones atornilladas se clasifican en duras o blandas dependiendo de los materiales que las componen, más que de los tornillos que los unen (Figura 35).

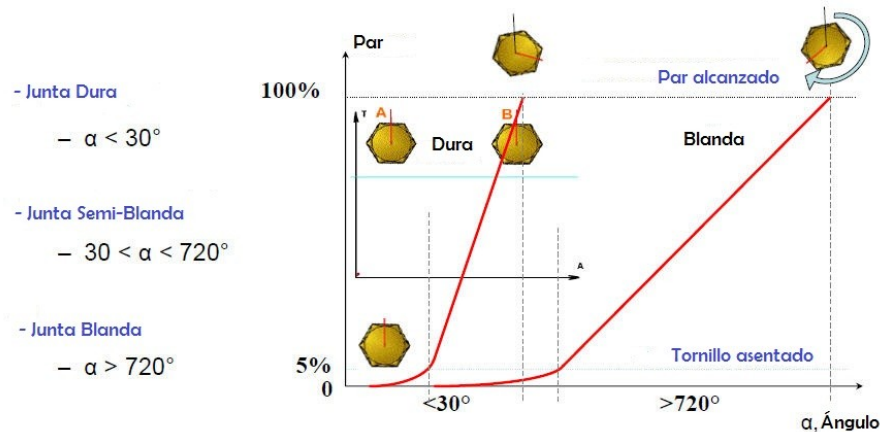


Figura 35: Tipos de uniones atendiendo a la empaquetadura

Sin embargo se ha de clasificar la unión también atendiendo al uso posterior de la pieza a ensamblar (Tabla 3):

Tabla 3: Clasificación de uniones atendiendo a su posterior uso

Categoría	Criticidad de ensamblaje	Ejemplo	Necesidades
Estandar	El fallo no afecta al funcionamiento de la máquina	Protección de plástico	1 - Asegurar el par correcto
			2 - Asegurar que todos los tornillos han sido apretados al par correcto
Crítica	El fallo SÓLO afecta al funcionamiento de la máquina	Cosido Cajas de Cambio, Motores	3 - Asegurar que la junta está correcta
			4 - Asegurar que todos los tornillos están apretados y todas las uniones correctas
Crítica de seguridad	El fallo puede afectar a la seguridad del usuario	Ruedas, Frenos	5 - Asegurar que todos los tornillos están apretados y las todas las uniones correctas. Trazar errores y almacenar los resultados
			6 - 100% de garantía

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Dependiendo de la resistencia de la unión se obtienen curvas diferentes (Figura 36):

- En un acero de baja calidad el límite elástico se aprecia claramente; el punto de rotura se alcanza con poca tensión
- En un acero de buena calidad, el límite elástico apenas se aprecia; el punto de rotura se alcanza con mucha más tensión

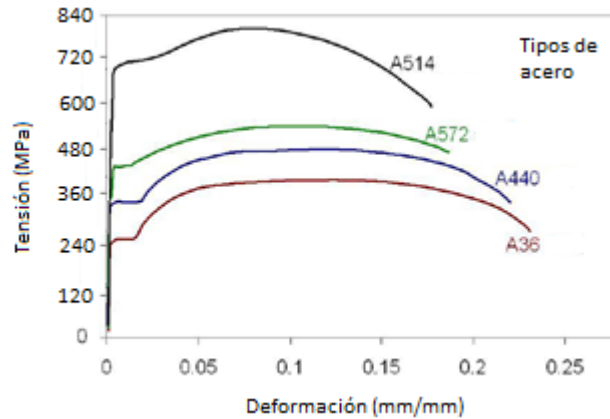


Figura 36: Tensión vs. Deformación

4.2.2. Comportamiento mecánico de la junta

- Cuando una junta está siendo apretada, el giro del tornillo o la tuerca está creando una fuerza de tracción en el tornillo y una fuerza de compresión sobre la junta (Figura 37).

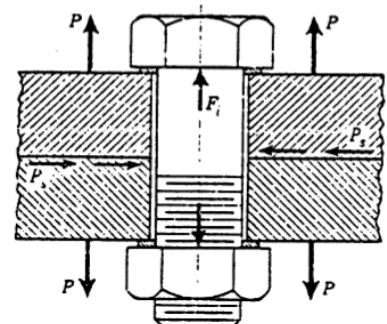


Figura 37 Tracción en tornillo, compresión en la junta.

- Al igual que un muelle, la elongación del tornillo genera la tensión necesaria para crear la fuerza de amarre en la junta (Figura 38).

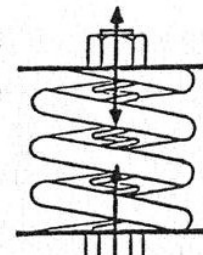


Figura 38: Simil Unión Atornillada vs. Sistema de muelles

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.2.3. Comportamiento tensional

Las uniones atornilladas tienen un estado tensional como el observado en la Figura 39. La tensión es mayor cuanto más cerca se está del alojamiento del tornillo. Y menor al alejarse de la unión.

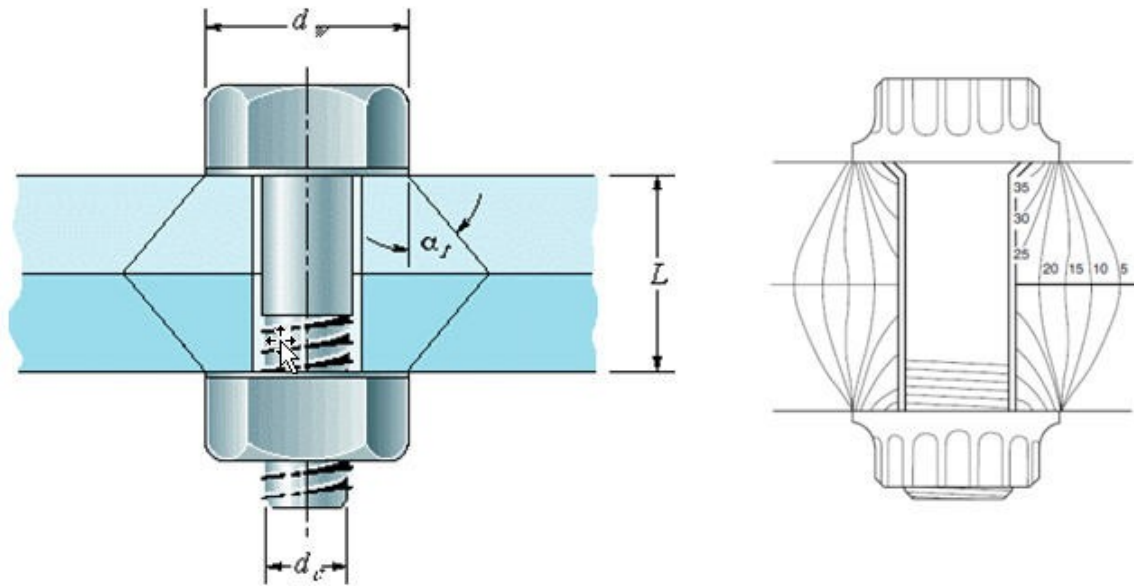


Figura 39: Estado tensional

Para reducir las tensiones en el alojamiento y extenderlas a lo largo de la unión se utilizan las arandelas, ya que abren el campo tensional. Las necesidades de cosido de cualquier unión atornillada hacen que a la hora de diseñarlas haya que poner entre unos tornillos y otros como mínimo una distancia de tres diámetros para garantizar la integridad estructural de los elementos a unir y un máximo de 6 para garantizar la estanqueidad de la empaquetadura.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.2.4. Arandelas

Las arandelas se colocan entre la tuerca o la cabeza del tornillo y el elemento a unir. Su función principal es aumentar la superficie de apoyo, abriendo así el campo tensional, además de evitar que con el giro del tornillo la pieza pueda rayarse.

Algunos tipos de arandelas sirven como sistema de inmovilización, para impedir que las tuercas se aflojen por el movimiento vibratorio del elemento a unir.

Hay muchos tipos de arandelas, en la Figura 40 se pueden ver varios ejemplos de las más utilizadas.

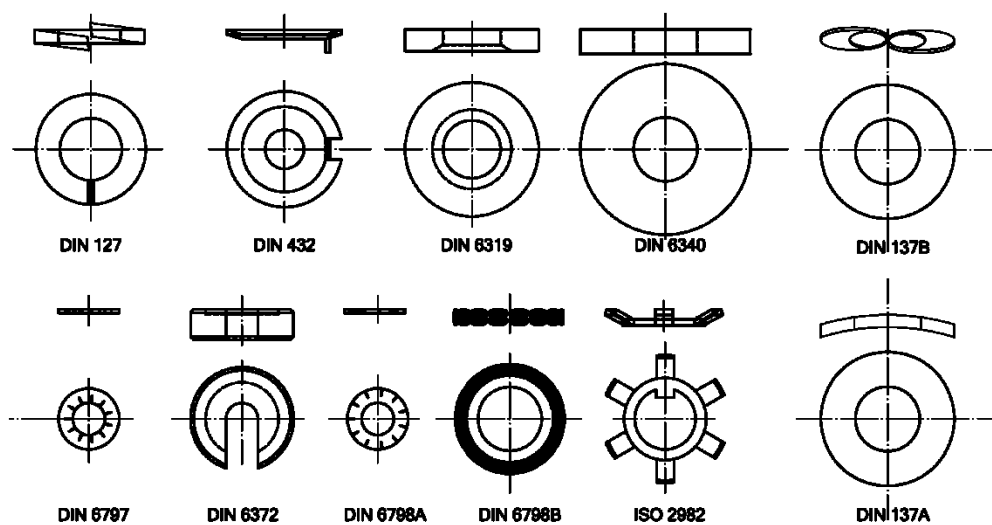


Figura 79Q

Figura 40: Tipos de arandelas más utilizados en industria.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.3. Herramienta de ensamblaje

Hay muchos tipos de herramientas de ensamblaje. En este punto se describirán las más comunes, ahondando y describiendo la tecnología más avanzada en cada caso.

4.3.1. Llaves dinamométricas

La llave dinamométrica es una evolución de la llave fija y de la carraca. De los tipos de herramientas que se utilizan es la única estrictamente manual, ya que el esfuerzo de apriete lo hace directamente el operario.

4.3.1.1. Tipos de herramientas dinamométricas

- i. De “rotura” (Figura 41): Son las dinamométricas más utilizadas. Al alcanzar el par de apriete al que está tarada la herramienta, ésta “rompe”, provocando que el operario deje de apretar intuitivamente. Si se continúa apretando una vez se produce la “rotura”, se podrá seguir aumentando el par en la junta.



Figura 41: Llave dinamométrica de “rotura”.

El mecanismo de “rotura” es muy especial (Figura 42) y cada fabricante tiene su propia tecnología.



Figura 42: Detalle del mecanismo de rotura.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- ii. De deslizamiento (Figura 43): El mecanismo es parecido a las de rotura, pero en vez de “romper”, se produce un deslizamiento de la llave. La diferencia significativa con las de rotura es que si se sigue apretando, la herramienta sigue deslizando, dejando así de apretar una vez se alcanza el par determinado. Este tipo de herramientas pueden incorporar un sistema electrónico para guardar datos de par en el sistema de trazabilidad.



Figura 43: Dinamométrica de deslizamiento.

- iii. De dial (Figura 44): Son los comúnmente llamados torsiómetros. Se utilizan para medir pares de arrastre bien de algún tren de engranajes o bien de frenos de tambor.



Figura 44: Dinamométrica de dial.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- iv. Digitales (Figura 45): Son usadas principalmente para comprobaciones de par. Los que más uso hacen de este tipo de herramientas son los auditores. Permiten guardar datos en una pequeña memoria y poder trasladarlos al ordenador para hacer los estudios de auditoría.



Figura 45: Dinamométrica digital.

4.3.1.2. Tolerancia de las llaves dinamométricas

La tolerancia de estas llaves viene definida en la Norma UNE-EN ISO 6789:2004, que dice que la desviación admisible entre el valor del par indicado por la herramienta y la indicación simultánea del dispositivo de ensayo debe ser tal como se especifica en la Tabla 4.

Tabla 4: Tolerancias herramientas dinamométricas de lectura directa

Clase ^a	Valor máximo del par	
	≤ 10 N·m	> 10 N·m
A y D	± 6%	
B, C y E	± 6%	± 4%

^a En el caso de herramientas dinamométricas con medida electrónica (Clase C y Clase E) y el valor indicado (Clase B y Clase D), los valores de la desviación admisible incluyen el error debido a la resolución del visor.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.3.2. Llaves neumáticas

Las llaves neumáticas, conocidas más comúnmente como pistolas neumáticas, han permitido que se utilice el aire comprimido para todo tipo de tareas de apriete, evitando así que el operario sea quien aplique la fuerza.

Esto no es del todo correcto como se podrá ver, ya que las pistolas neumáticas, en mayor o menor medida, sufren una fuerza de reacción que en algunos casos debe absorber el operario que la maneja.

4.3.2.1. Tipos de herramientas neumáticas

i. Pistola de impacto y su tecnología

Las herramientas de impacto (Figura 46) tienen una velocidad y una relación potencia/peso muy altas, lo que las hace ideales, por ejemplo, para aplicaciones de afloje. Cubren un amplio rango de par y están disponibles en modelos sin y con desconexión. No producen fuerzas de reacción excesivas, aunque las vibraciones y el ruido de funcionamiento son elevados.



Figura 46: Pistola neumática impacto

a. Martillo basculante

El sistema de martillo basculante (Figura 47) tiene un impacto por rotación a un lado del yunque. Esto provoca una mayor energía por golpe. Es una tecnología especialmente adecuada para trabajos de desmontaje.

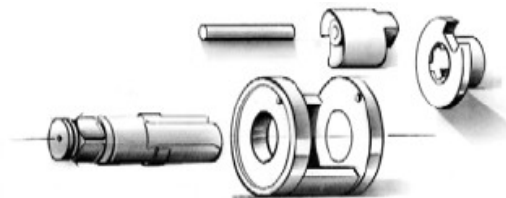


Figura 47: Martillo basculante

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

b. Doble Martillo

El doble martillo (Figura 48) tiene dos impactos por rotación, a ambos lados del yunque.

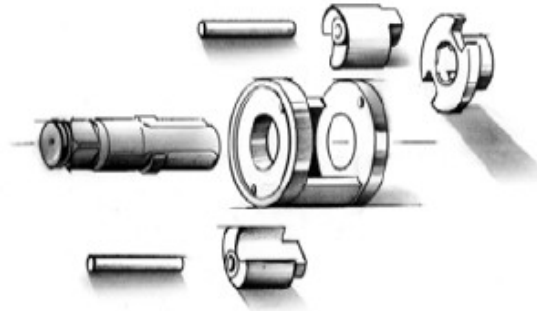


Figura 48: Doble martillo

c. Twin-Hammer

Usa el mismo principio que el sistema de doble martillo pero con un ensamblaje diferente (Figura 49).



Figura 49: Doble martillo evolucionado

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

d. Sistema 3 Jaw

El sistema 3 Jaw tiene un impacto por rotación en las mordazas del yunque (Figura 50). Esto le otorga una gran capacidad de par. Son adecuadas para las uniones extremadamente duras.

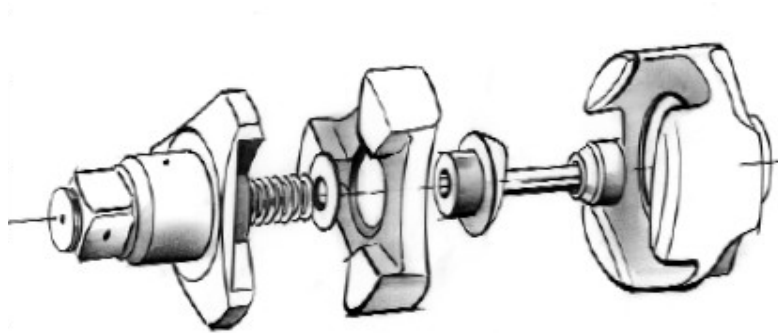


Figura 50: Sistema 3-Jaw

e. Sistema Dynapact

El sistema provoca un impacto por rotación en ambos lados del yunque a la vez (Figura 51). Este sistema ofrece gran capacidad de par y un buen equilibrio.



Figura 51: Sistema Dynapact

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

ii. Pistola de impulso y su tecnología

Las herramientas de impulso (Figura 52) son la elección ideal para operaciones de apriete rápido y sin reacción con una sola mano. Tienen las mismas ventajas que las llaves de impacto, pero con mayor precisión. Asimismo, se trata de herramientas con una buena ergonomía, es decir, con un nivel sonoro más bajo y menos vibraciones. Las herramientas de impulso también tienen una mayor vida útil.



Figura 52: Pistola neumática impulso

Estas herramientas tienen un mecanismo de impulso de doble cuchilla para el sellado de aceite que da una alta repetibilidad. El mecanismo está diseñado de modo que el revestimiento, girado por el motor de aire, da un par igual en ambas cuchillas y un par instantáneo de rotación en el eje principal. Se ha diseñado un by-pass en el revestimiento de manera que el aceite puede escapar de la zona de alta presión hacia la zona de baja presión en el momento de crear un pulso y la cantidad de flujo de aceite se puede ajustar mediante la válvula de alivio para controlar el par de salida. La evolución lógica, a punto de salir al mercado, es la utilización de tres cuchillas para una mayor suavidad de manejo y precisión.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Dependiendo del modelo (cada modelo cubre un rango de par determinado) y la configuración (mediante un tornillo de tarado puede moverse por el rango de par), las herramientas pueden dar entre 10 y 40 impulsos por segundo. La potencia se transmite por presión de aceite y por lo tanto las herramientas tienen muy bajos niveles de ruido y de vibración. En la Figura 53 se puede ver la última tecnología, la unidad de doble impulso.

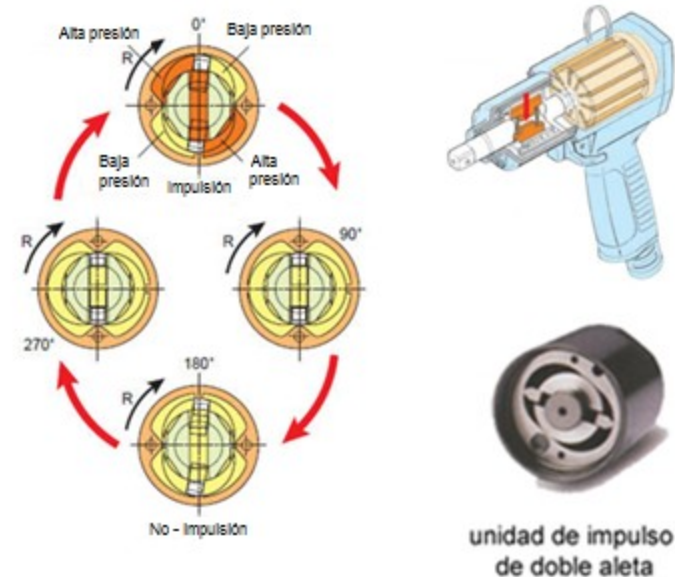


Figura 53: Unidad de doble impulso y funcionamiento.

La existencia de una o dos cámaras (evolución lógica) hace que la herramienta tenga unas características u otras. La Figura 54 hace una comparativa entre las dos tecnologías.

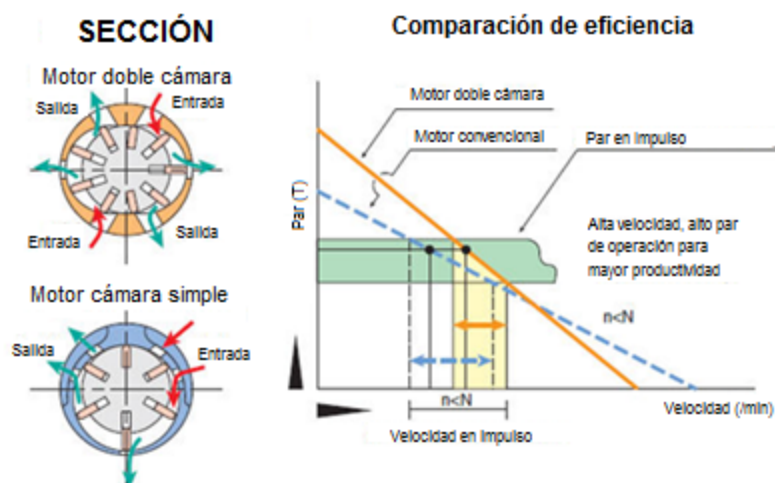


Figura 54: Comparativa entre motores de una y dos cámaras.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

a. Impulso simple

Son las herramientas de impulso más sencillas (Figura 55), con una precisión aproximada del 30%. Se utilizan principalmente para aproximar tornillos a rápida velocidad, dejándolos a un par inferior pero casi igual al par objetivo, para después dar el par definitivo con una llave dinamométrica.



Figura 55 Pistola de impulso simple

b. Impulso con desconexión

En este caso la herramienta es capaz de cortar cuando alcanza un par determinado (Figura 56). La precisión de este tipo de herramienta es bastante limitado, de un 20%, por eso se utilizan también en aproximación de tornillos. Para diferenciarlas de las de impulso simple, éste tipo de herramienta se utiliza cuando la cantidad de tornillos a aproximar es grande y el ritmo de trabajo alto, ya que al cortar indican al operario cuándo tienen que pasar al siguiente tornillo.



Figura 56: Pistola con desconexión

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Comparativa herramientas Impulso vs. Impacto (Figura 57).

Frente a las herramientas de impacto, las de impulso tienen una menor dispersión a la hora de aplicar un par determinado. Se puede comprobar que las herramientas de impulso se pueden ajustar al par deseado (dentro del rango de máquina), no así las herramientas de impacto convencionales.

Tienen el inconveniente del precio pero claramente amortizables ya que la unidad de impulso se basa en el empleo de dos paletas impulsadas por aceite, mientras que la unidad de impacto gira debido al golpeo del martillo.

Tanto el nivel de ruido como el de vibración de las herramientas de impacto son bastante superiores al de las de impulso.

c. Impulso par controlado

Las herramientas de par controlado son herramientas muy avanzadas con funciones de detección de errores (Figura 58). Están destinadas a uniones con rango tolerancia estrecho (sin llegar a ser crítico). Además ofrecen un control completo del proceso de apriete con información de los resultados en pantalla y con capacidad para guardar datos conectadas a “trazabilidad”. Su precisión aproximada es de un 15%.

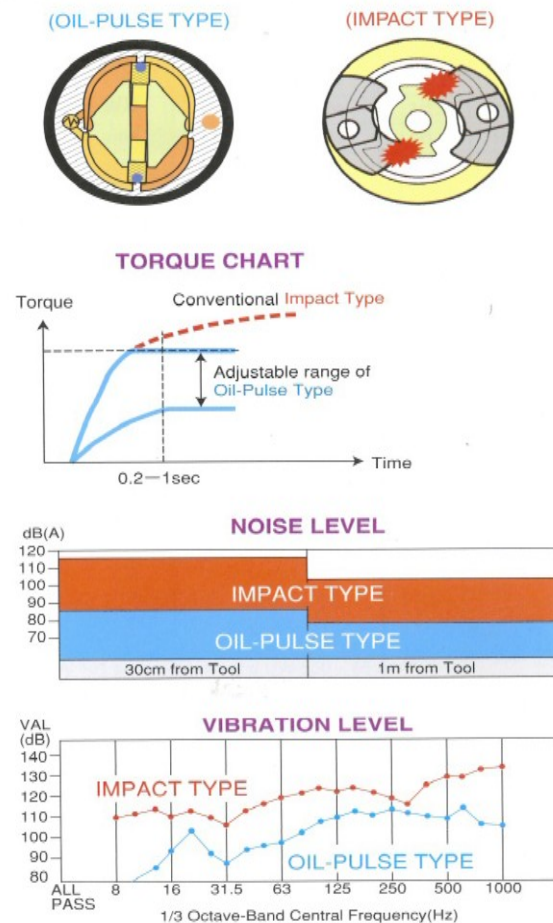


Figura 57: Comparativa Impacto vs Impulso



Figura 58: Pistola impulso par controlado

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Dada la complejidad de los sistemas de impulso de par controlado, y tratándose de un proyecto de aprietes de alto nivel tecnológico, se va a describir esta tecnología con un poco más de detalle. Para ello, se ha contado con cantidad de catálogos y manuales de la marca Fuji Tools, pionera y a la vanguardia de la técnica.

Fuji posee en su catálogo un sistema de apriete con control electrónico de par, denominado “FET”, con microprocesador integrado en la propia herramienta de impulso hidráulico. Permite la programación de la operación de apriete, el control del par, la visualización digital del par alcanzado, el almacenamiento de datos y el uso múltiple de llaves de impulso hidráulico conectadas a una red de comunicación.

El sistema de apriete FET consta principalmente de una herramienta de impulso hidráulico con pantalla de visualización del par, un microprocesador (CPU), con una válvula de corte de aire, un inter-conector (interface) y software para comunicación. El principio de funcionamiento se basa en que el aumento de la presión hidráulica experimentado durante la operación de apriete es captado por un sensor de presión y convertido en señal eléctrica, calculado para cada valor de par, y supervisado por el microprocesador. Una vez se alcanza valor de par prefijado, se produce el corte del paso de aire (shut-off). La herramienta de impulso hidráulico puede realizar la transmisión simultánea de datos a instrumentos periféricos y también puede almacenar los datos de apriete de 4000 ciclos.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Las características y la programación de estas herramientas se describen a continuación, así como los elementos que las componen (Figura 59):

- La programación de la operación de apriete puede realizarse en el panel de operación, situado en la cubierta posterior de la llave de impulso hidráulico.
- El par es visualizado en el panel de operación, acompañado por una señal luminosa verde indicando que el par es correcto (OK), o roja (más alarma sonora mediante un zumbador), indicando que el par es incorrecto (NG).
- La llave de impulso hidráulico puede almacenar los datos de apriete de 4000 ciclos y simultáneamente puede realizar la transmisión de datos a un ordenador personal.
- El número total de ciclos efectuados que puede registrar la llave de impulso hidráulico es de un millón; de esta forma, el operario puede conocer el número de aprietes efectuados en un tiempo dado, y también desde la puesta en funcionamiento de la herramienta. Esto también es de gran utilidad para el servicio de mantenimiento.
- La herramienta tiene una salida RS485 de alta velocidad para comunicación bidireccional. Pueden comunicarse mediante un ordenador personal hasta un máximo de 20 herramientas de la serie FET.



Figura 59: Elementos necesarios en la instalación

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Para conocer un poco más en profundidad los elementos que forman una instalación tipo, se pueden describir uno a uno:

- Pistola neumática FET-99-2: Tiene un display de led en la parte trasera para identificar los aprietes malos (color rojo) y los buenos (color verde) (Figura 60 y 61).

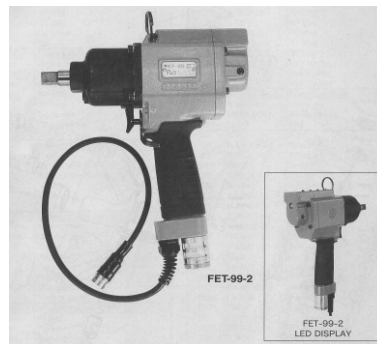


Figura 60: Pistola FET-99-2

Model	Bolt Size	Recommended Torque Range			Rotational Frequency	Distance from Center to Side		Square Drive Size		Overall Length		Mass		Air Consumption (At Load)		Air Inlet Thread Size	Air Hose Size	
	mm	N·m	kgf·m	ft·lb	min ⁻¹	mm	in	mm	in	mm	in	kg	lb	m ³ /min	ft ³ /min	in	mm	in
FET-99-2	M10	55~80	5.6~8.2	40.6~59.0	4,800	29.5	1 3/16	12.7	1/2	202	7 61/64	2.2	4.9	0.6	21.2	PT or NPT 1/4	9.5	3/8

Figura 61: Características pistola FET-99-2

- Commander FET-002-1: Se encarga de arrojar los datos de par que consigue la pistola, así como de avisar si el apriete ha sido bueno o malo, aunque su función principal consiste en programar el par de apriete requerido para el proceso (Figura 62).



Figura 62: Commander

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- Interface FET-001-1: Su misión es traducir la señal que arroja la herramienta para que el Commander pueda mostrar el valor del par en la pantalla (Figura 63).



Figura 63: Interface

- Regulador de aire: Se coloca a la entrada del circuito para establecer una presión constante en el mismo y que los aprietes no se vean afectados por fluctuaciones en el caudal de aire comprimido (Figura 64).



Figura 64: Regulador de aire

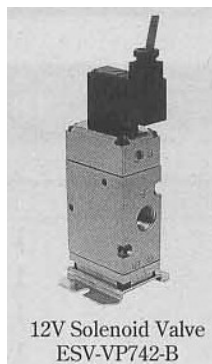


Figura 65: Válvula solenoide

- Válvula de solenoide: Controlada por la Interface, es la encargada de cortar el suministro de aire para que la pistola neumática deje de apretar cuando ha quedado apretado el tornillo al par adecuado (Figura 65).

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

La instalación para la total operatividad de la herramienta sería la mostrada en la Figura 66:

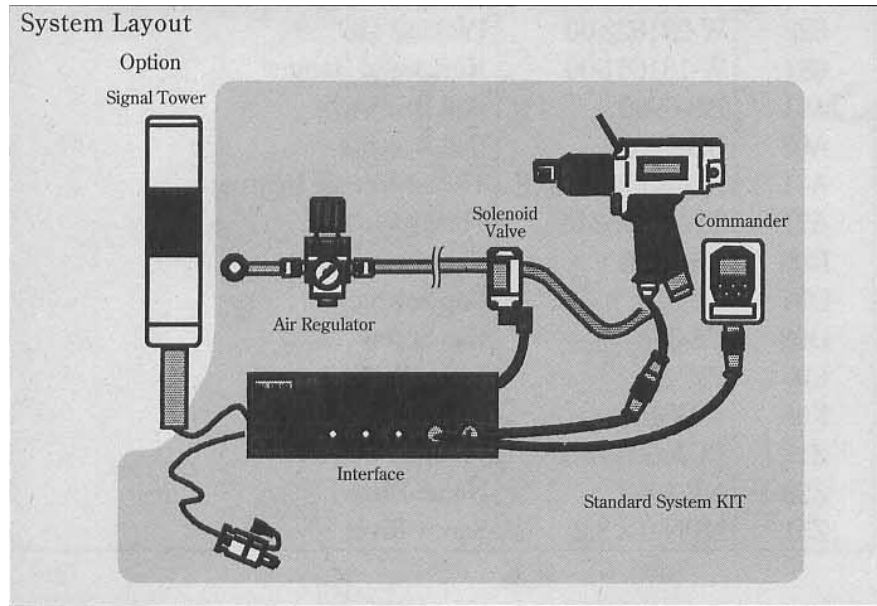


Figura 66: Layout del sistema FET completo

Se alimenta neumáticamente el circuito, controlando que el caudal entrante sea constante mediante una válvula reguladora. El transductor de par (incorporado en la herramienta) cuando detecta que la herramienta ha alcanzado el par adecuado, envía una señal a la Interface, y ésta a su vez la reenvía a la válvula de solenoide, que corta la alimentación de aire.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- Diagrama de Funcionamiento.

En la Figura 67 se puede ver que el par medio requerido queda fijado automáticamente en el punto medio entre el límite inferior y el superior. Tras haber alcanzado el par medio requerido se proporcionan un número de impulsos adicionales determinado para una absorción de energía más rápida y efectiva, dicho número de impulsos dependerá del tipo de junta), y el suministro de aire es cortado, a la vez que se visualiza el par en la pantalla y se enciende la lámpara de Correcto (OK), o Incorrecto (NF) y suena el zumbador.

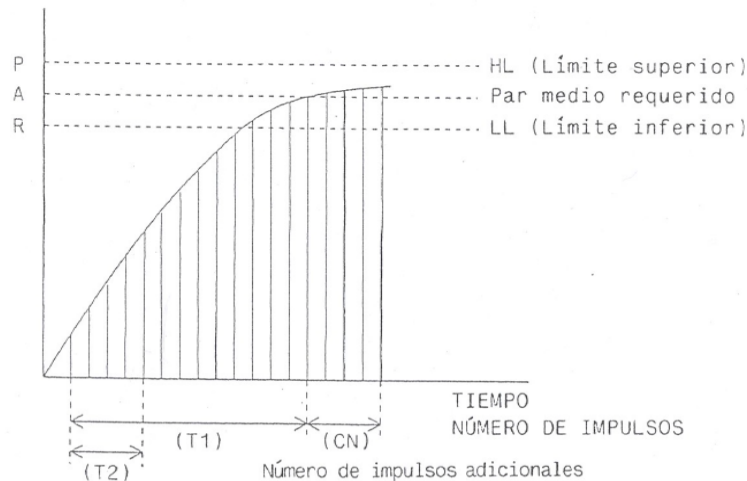


Figura 67: Diagrama de funcionamiento FET

T1 es el temporizador que detecta:

- La avería de la herramienta de impulso
- Un tornillo pasado de rosca

Es necesario comprobar el par de la herramienta de impulso y el tornillo cuando el par de apriete no llega al límite inferior prefijado dentro del tiempo especificado (normalmente 1,5 veces el tiempo de apriete normal). El encendido de la lámpara LED de color rojo y el sonido del zumbador alertarán sobre el apriete Incorrecto (NG).

T2 es el temporizador que realiza las dos funciones siguientes:

- Detectar un apriete duplicado o un tornillo trasroscado. Cuando en la primera etapa de la operación de apriete el par supere el par medio requerido, se encenderá la luz roja de apriete Incorrecto (NG) y sonará el zumbador.
- Encubrir cualquier aumento inesperado del par en la primera etapa de la operación de apriete, producido por unas condiciones de trabajo precarias. En este caso no se señalará el apriete como Incorrecto (NG).

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- Sistema de Comunicación de Datos

En conexión con un ordenador personal, los datos de apriete de las herramientas FET son controlados y registrados por dos sistemas de comunicación:

1. Sistema de carga de datos.
2. Red de comunicación (red FV).

1) Sistema de carga de datos

Dos modalidades están contempladas en este apartado:

- Carga por grupos

La herramienta de impulso puede almacenar datos de apriete hasta 4.000 ciclos. Para usar esta función es necesario que el programa de almacenamiento de memoria esté instalado en el ordenador personal. Después de las operaciones de apriete, la llave de impulso hidráulico puede transmitir los datos de apriete cuando esté conectada al ordenador personal. La transmisión de los datos es preciso que se realice antes de que el número total llegue a los 4.000 ciclos.

- En tiempo real

Se realiza la transmisión simultánea de datos al ordenador personal. Es posible imprimir los datos cuando la impresora esté conectada al ordenador (Figura 68).

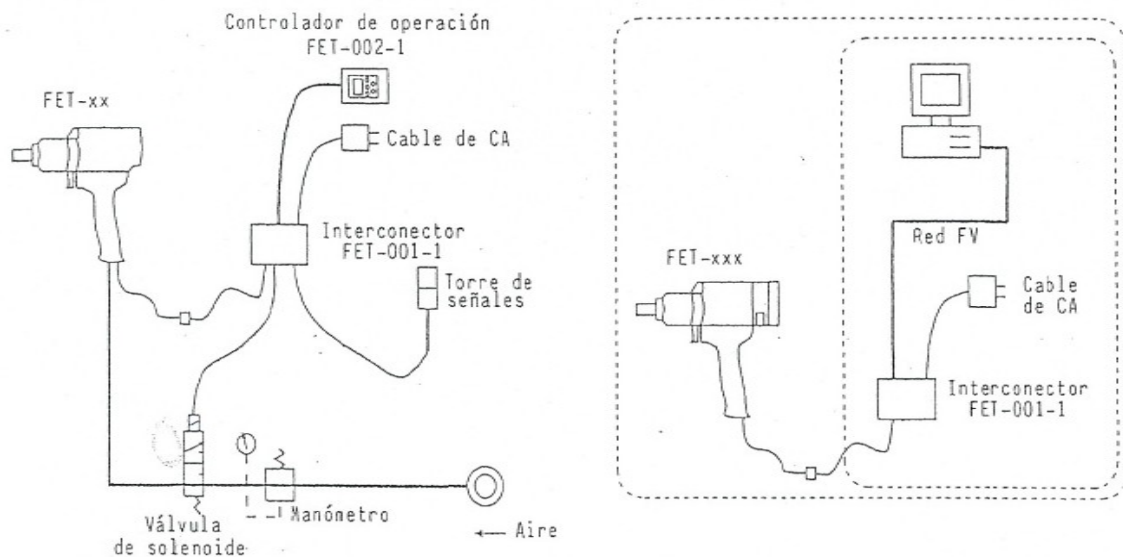


Figura 68: Sistema de carga de datos. A) Carga por grupos. B) Tiempo real.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

2) Sistema de comunicación (RED FV)

Se trata de un sistema para controlar hasta 20 unidades FET en un radio de 1 km haciendo uso de un ordenador personal. Además de las transmisiones simultáneas de datos, los datos de apriete pueden ser analizados en el momento, o a intervalos regulares por día, por semana o por mes (Figura 69).

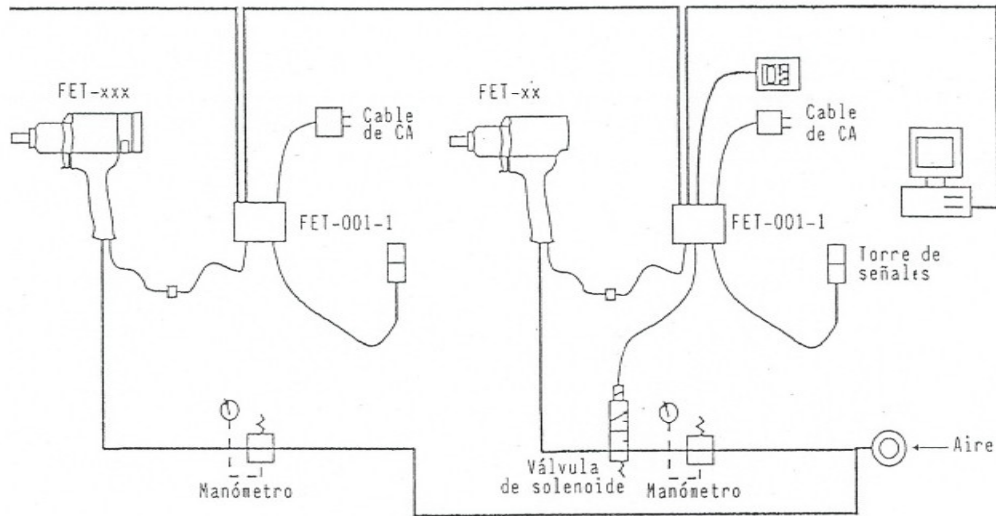
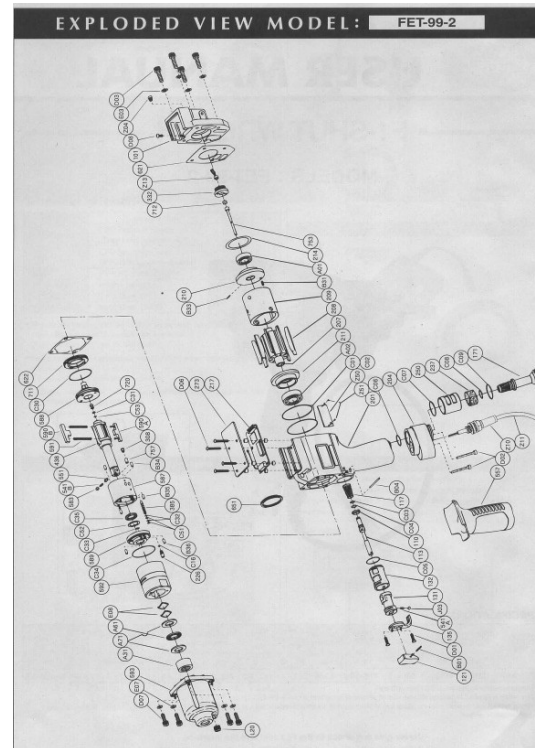
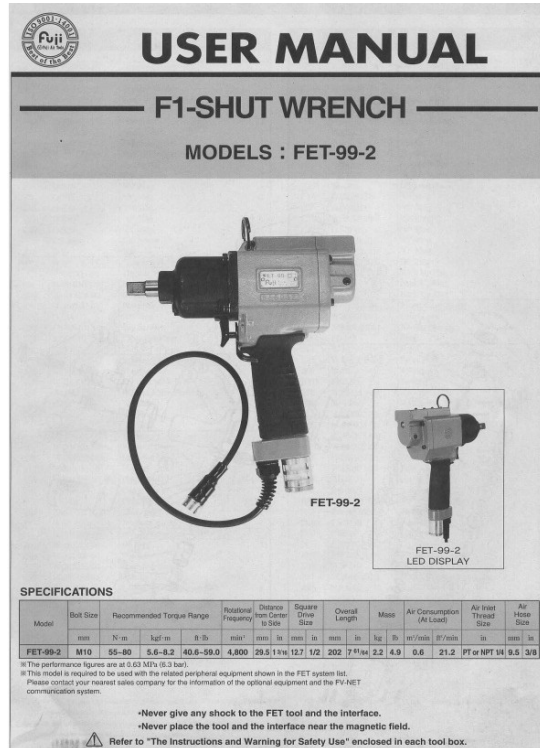


Figura 69: Sistema de comunicación.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Se adjunta el manual de usuario de una herramienta de la serie FET-xx (Figura 70).



PARTS LIST MODEL: FET-99-2			
Index No.	Parts No.	Parts Name	Qt.
Ass'y No. W-304006-04			
121	W-28121-00	Housing Assy	1
131	W-28121-01	Reverse Valve	1
135	W-28121-00	Reverse Valve Lever	1
171	W-28121-00	Inlet Joint (PT) or	1
171	W-28121-01	Inlet Joint (NPT)	1
237	W-28227-00	Muffler Pad	1
250	W-28225-01	Exhaust Cover	1
541A	W-25251-00	Bottom Retainer Spring (P)	1
B01	SP-212	Spring Pin	1
B04	GF-286GLC	Grooved Pin	1
C01	O-848	"O" Ring	1
C02	O-848	"O" Ring	1
C07	O-820	"O" Ring	1
C08	O-810	"O" Ring	1
C09	O-820	"O" Ring	1
D01	CS-305	Cap Screw	2
J03	B-3	Ball	1
Ass'y No. W-304043-00			
117	W-28217-01	Throttle Valve Spring	1
201	W-30404-00	Housing	1
204	W-30020-00	Housing Lower Cover	1
557	W-28257-01	Protector	1
C06	O-814	"O" Ring	1
D02	CS-225	Cap Screw	2
Z10	YZZ-001	Cable Protector	1
Z11	FET-005-1	Cable	1
Ass'y No. W-300945-00			
110	W-28211-00	Throttle Valve	1
133	W-28213-01	Throttle Valve Rod	1
132	W-28213-01	Reverse Valve Bushing	1
C03	O-854	"O" Ring	1
C04	O-P5	"O" Ring	1
C05	O-817	"O" Ring	1
Ass'y No. W-304001-00			
101	W-30401-00	Housing Cover	1
332	W-30332-00	Lock Nut	1
712	W-30071-00	Damper	1
753	W-30175-00	Piston Rod	1
D03	CS-416	Cap Screw	4
E03	PW-4K	Pin Washer	4
Z04	LAS-0001	LED Lamp	1
Z13	WAN-0004	Pressure Sensor	1
Ass'y No. W-300021-01			
226	W-28122-00	Oil Plug	1
308	W-28130-00	Spacer	1
385	W-28138-00	Adjusting Screw	1
438	W-28143-03	Spindle Chd	1
541B	W-22451-00	Bottom Retainer Spring (P)	1
551	W-22451-00	Plug	1
567	W-22450-00	Retainer Button (P)	1
Ass'y No. W-281207-00			
207	W-281207-00	Rotor	1
208	W-281208-00	Rotor Blade	9
209	W-281209-00	Cylinder	1
(B31)	SP-2.56	Spring Pin	1
210	W-281210-00	Cylinder Upper Plate	1
(B33)	SP-1.56	Spring Pin	1
211	W-281211-00	Cylinder Lower Plate	1
214	M-54721-00	Adjusting Washer (T=0.03)	1
273	W-304027-00	Cover	1
621	W-304021-00	Packing (A)	1
622	W-281622-00	Packing (B)	1
631	W-181631-00	Horizontal Hanger	1
A01	BB-6900	Ball Bearing	1
A02	BB-6001	Ball Bearing	1
A51	NB-NTR163ANE	Thrust Needle Bearing	1
A71	TW-AS1624E	Thrust Washer	2
D06	CS-320B	Cap Screw	4
D07	CS-316	Cap Screw	4
D08	CS-303	Cap Screw	1
E07	PW-4K	Pin Washer	4
E08	PW-16	Pin Washer	1
Z17	PCA-0005-4.1	Main CPU Board	1
Z20	NP-1092	Name Plate	1
Z31	NPN-04x3.2	Screw Rivet	2

FET Series Standard Accessories

(Included in Complete KIT)

AC No.	Description	Size	Qt.
FET100-1	Interface	—	1
FET100-1	Commander	—	1
FET100-1	Sensor Cable	3m	2
EG-AK-1002	Power Cable	2m	1
E-032070-00	Adapter Assembly	—	1
AK1000-1/2	Air Regulator	1/2"	1
ES1VP142-B	1/2" Solenoid Valve	1/2"	1
HN-1/2(B)	Hose Nipple	1/2"	1
M-027	Hose Coupler Socket	1/2"	1
M-629	Plug	1/2"	1

Optional Accessories

AC No.	Description	Size	Qt.
FET100-1-2	CPU Board & Floppy (Data Load System)	—	1
FET100-1-2	CPU Board & Floppy (FV-NET Network System)	—	1
FET100-20	FV-NET Cable	20m	1
FET100-1	Printer Interface	—	1
FET107-11*	Twin Hose (PT)	11ft	1
FET107-11N	Twin Hose (NPT)	11ft	1

* The different lengths of FV-NET cables are available besides 20m shown in the above. 3m, 10m and 20m cables are available.
* Please order like FET100-6, -10 & -30.
* Fanning data can be printed out with FET100-1 printer interface (option) and printer (option).
* 5 different lengths of the Twin Hose are available: 3m, 5m, 6m, 10m and 15m. Please specify the length in ordering.

Standard Accessories

Optional Accessories

FET System in Operation

FV-NET System (Option)

It is now FV-NET communication system that makes the best use of the features of FET series. This high-speed communication system can control numbers of tools up to 20 tools at a real time within a distance of 1 kilometer, by utilizing one personal computer with our unique protocol.

FUJI AIR TOOLS CO., LTD.
2-1-14 Kamiji, Higashinari-ku, Osaka 537-0003, Japan

Tel : (06) 6972-2335
Fax : (06) 6972-2250

Figura 70: Manual de usuario FET.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.3.2.2. Eficacia de las herramientas neumáticas

La eficacia de una herramienta neumática está directamente relacionada con la presión de alimentación de la misma. Las herramientas que más dependen de este factor son las de par controlado ya que se ajustan al par de trabajo teniendo en cuenta que en la red neumática siempre se va a contar con 6 bar de presión (según normativa JD, las instalaciones neumáticas de fábrica deben tener un mínimo de presión de 6 bares en cualquier punto de la fábrica). La pérdida de 1 bar en la red significa una pérdida de un 25% de potencia de la herramienta.

No sólo se ve afectada la potencia de la máquina, sino que también se compromete la capacidad de la misma. Comienza a aplicar pares muy dispersos (aunque seguramente dentro del límite de tolerancia), lo que provoca que los estudios de capacidad determinen que la máquina sea incapaz.

Todo esto puede dar como resultado una vida más corta de las herramientas y una inversión superior a la que supone el correcto dimensionamiento de la red neumática.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.3.3. Herramientas eléctricas y su tecnología

Hay aplicaciones en las que el par es, bien crítico (tolerancias muy estrechas, del 5 o 10%) o bien demasiado alto como para usar herramientas neumáticas o dinamométricas, respectivamente. En estos casos la solución es utilizar herramientas eléctricas, en adelante husillos.

Hay varios fabricantes de husillos eléctricos, pero en JDISA los dos más comunes son CP Desoutter y Atlas Copco. Ambas compañías están a la vanguardia de la técnica.

La tecnología utilizada en los husillos es capaz que hacer que tanto los rangos de par como los de velocidad a los que pueden trabajar sean muy amplios. Todas estas funciones se pueden manejar gracias a las múltiples programaciones que admiten los controladores.

Se pueden hacer, por tanto, programaciones muy detalladas, tanto de cada valor de apriete por separado (con valores muy de par muy alejados para aplicaciones distintas dentro de un mismo proceso), como de los valores de velocidad, ángulo, tolerancias, etc.

Debido a que CP Desoutter es la más extendida en fábrica, y que en un posterior capítulo será protagonista, se pasará a describir su tecnología.

Existen dos tipos de controladores modelo CVI Generación II, los llamados CVI II y TWINCVI II, capaces de controlar una y dos herramientas respectivamente.

Se describirá en principio el modelo TWINCVI II ya que de inicio posee las mismas funciones que el modelo CVI II, con algún añadido que lo hace especial.

El cofre de control TWINCVI II (Figura 71) permite controlar una o dos herramientas eléctricas de apriete, tanto portátiles (gama ER) como fijas (gama EM).

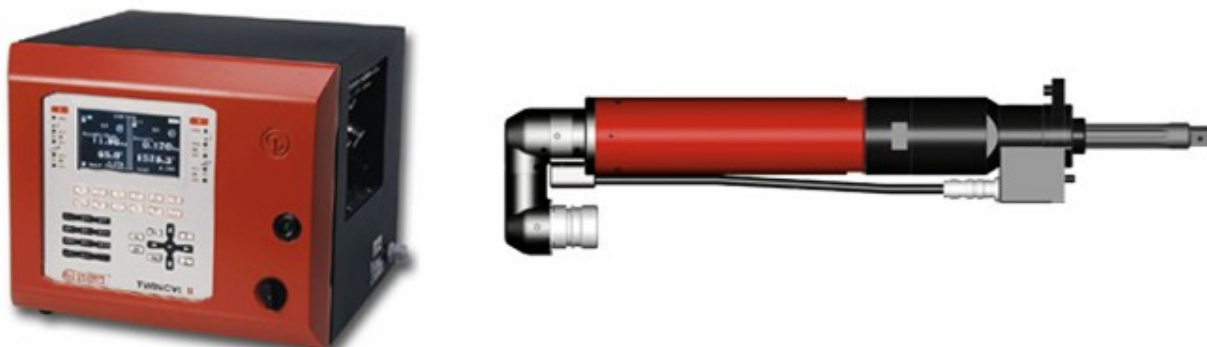


Figura 71: Cofre de control TWINCVI II y herramienta eléctrica

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Se puede programar como una máquina o como dos máquinas diferentes dependiendo de si el modo de funcionamiento de los husillos va a ser síncrono o asíncrono respectivamente.

- Modo de funcionamiento síncrono:

Las herramientas conectadas con el cofre constituyen una sola y misma máquina. Utilizan uno o varios ciclos comunes pero su parametrización puede ser distinta. Los mandos son comunes para las dos herramientas (Figura 72).

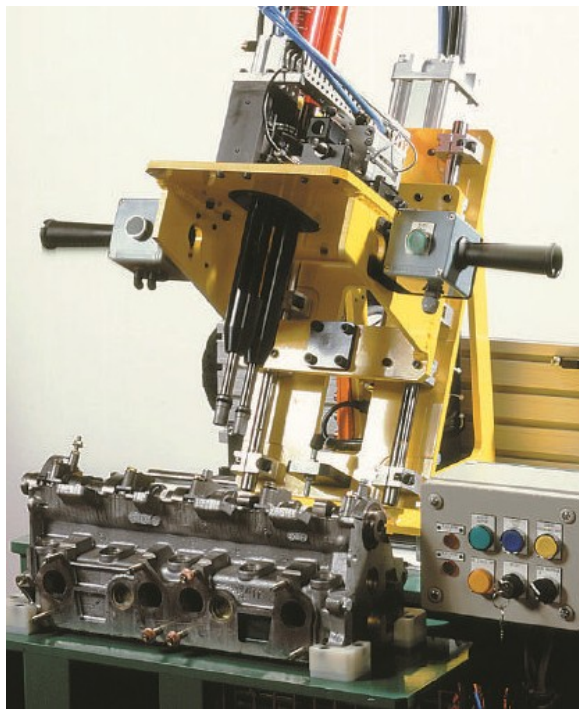


Figura 72: Husillo doble síncrono para el apriete de culatas

- Modo de funcionamiento asíncrono:

Los dos husillos conectados al cofre constituyen dos máquinas independientes. Los ciclos y los mandos son independientes.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.3.3.1. Fases y estrategias de apriete con herramienta eléctrica.

Una estrategia de apriete es una secuencia de fases de apriete programadas.

Un apriete programado puede estar formado por una serie de fases básicas:

- 1 Secuencia de búsqueda
- 2 Aproximación
- 3 Velocidad final
- 4 Afloje

Se pueden usar en el orden que se estime oportuno y que más se adecúe a las necesidades del proceso de montaje y a los elementos de la unión atornillada.

A continuación se describirán las fases de apriete en detalle.

1 Secuencia de búsqueda:

El objetivo de esta fase es la de establecer el contacto adecuado entre la bocallave y la cabeza del tornillo (Figura 73).

Para ello hace un giro aflojando en vacío a poca velocidad. Una vez se establece en contacto perfecto, es posible pasar a la siguiente fase.

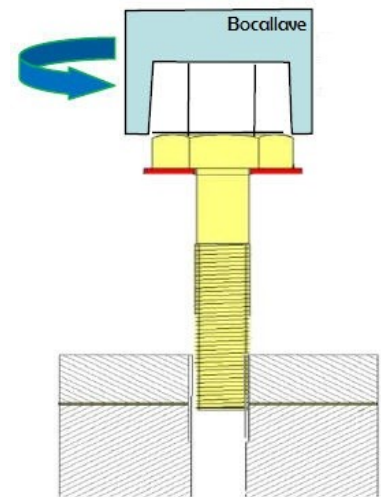


Figura 73: Secuencia de búsqueda

2 Aproximación:

Se trata de aproximar el tornillo lo más rápido posible para ganar tiempo, evitando, eso sí, hacerlo tan rápido como para poder trasroscar el tornillo (Figura 74).

La fase se detiene cuando el transductor vea que se alcanza un par que se establezca como el final de esta fase e inicio de la siguiente.

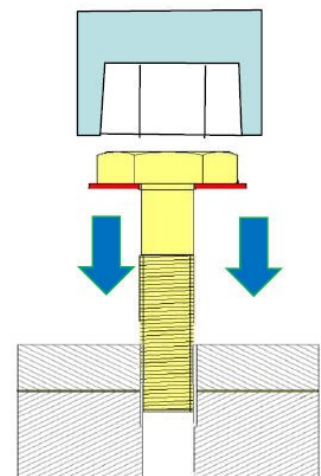


Figura 74: Aproximación

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

3 Velocidad final:

Es el último paso en el apriete. Su misión es dejar el apriete de la unión entre los límites fijados en la programación.

Esta fase debe estar programada con una estrategia adecuada a la unión que se desea atornillar.

Cada estrategia puede incluir control y verificación del proceso:

- Apriete al par
- Apriete al par + ángulo
- Apriete a ángulo + par
- Apriete al par + ángulo + pendiente
- Estrategia con control adicional (corriente)
- Apriete con mantenimiento al par
- Apriete al par de rozamiento
- Apriete a límite elástico
- Desapriete al par + ángulo / ángulo + par
- Apriete sincronizado

a. Apriete al par:

Se registra un valor llamado “par cresta”. El husillo para cuando el par es mayor o igual que el par de parada (Figura 75). Fácil de programar.

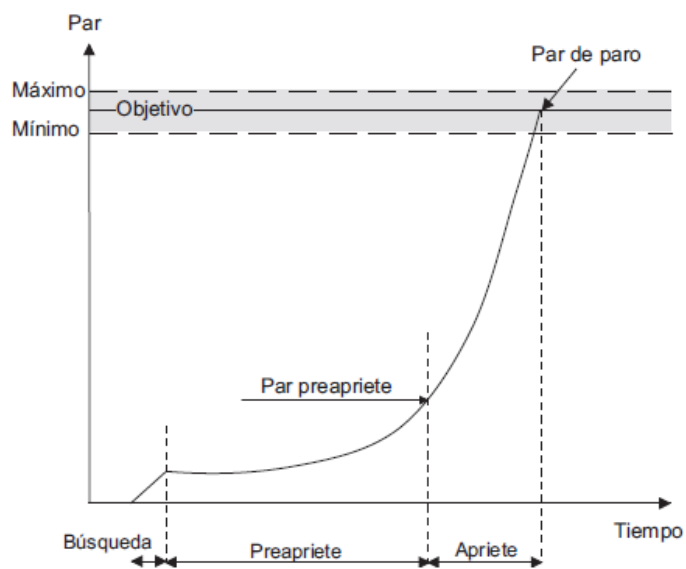


Figura 75: Apriete al par

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

b. Apriete al par + ángulo:

El principio de la cuenta angular debe situarse en la zona lineal de la subida del par.

La medición del ángulo tiene en cuenta la torsión del husillo descontando el ángulo durante la fase de recaída del par, hasta el momento del paso por el valor del umbral de inicio de la cuenta angular (Figura 76).

Se usa en uniones críticas o de seguridad ya que permiten conseguir una fuerza de amarre de forma más precisa.

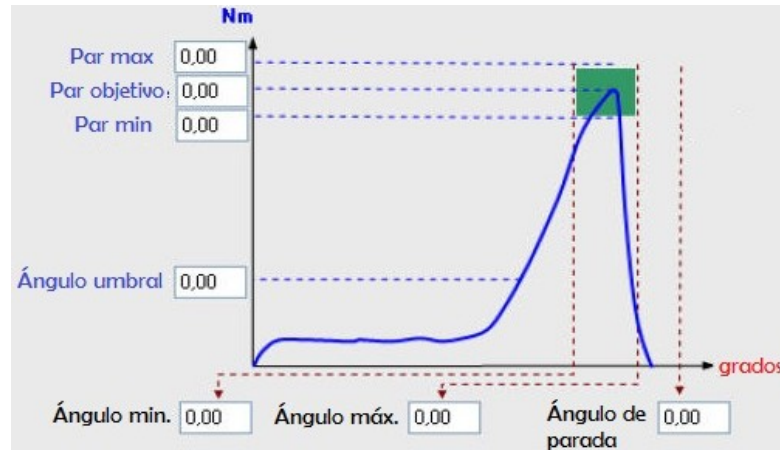


Figura 76: Apriete al par + ángulo

c. Apriete al ángulo + par:

El principio de la cuenta angular debe situarse también en la zona lineal de la subida del par (Figura 77).

La medición del ángulo tiene en cuenta la torsión del husillo. Esto se consigue midiendo el ángulo de torsión del husillo en el momento de la recaída del par final del apriete hasta el momento en el que el par vuelve a pasar por el valor de par de inicio de la cuenta angular.

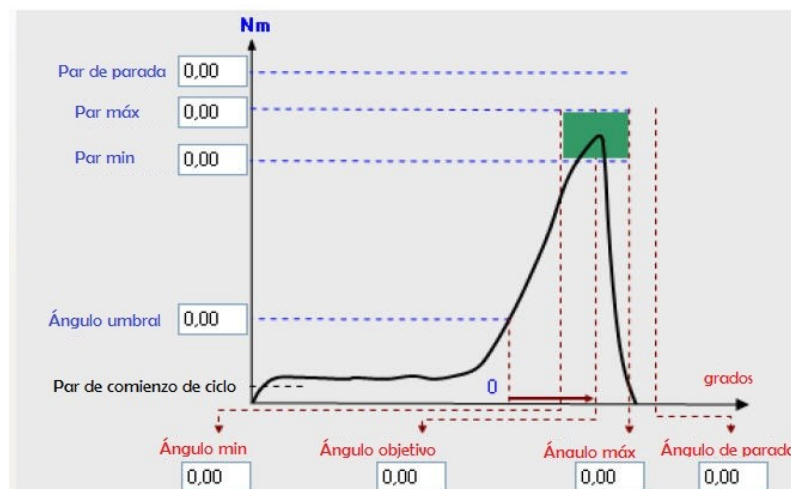


Figura 77: Apriete al ángulo + par

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

d. Apriete al par + ángulo + pendiente:

El cálculo de la pendiente proviene del principio del cálculo del límite elástico. A partir del umbral de cuenta angular, el sistema mide el ángulo de rotación del husillo. Al cabo de 16° , se procede al primer cálculo de pendiente. Después se efectúa un cálculo cada grado y el resultado final es el valor leído en el momento de la parada en el par. Este principio permite detectar un ratio de apriete anormal (ausencia de arandela, presencia de 2 arandelas, etc...). (Figura 78)

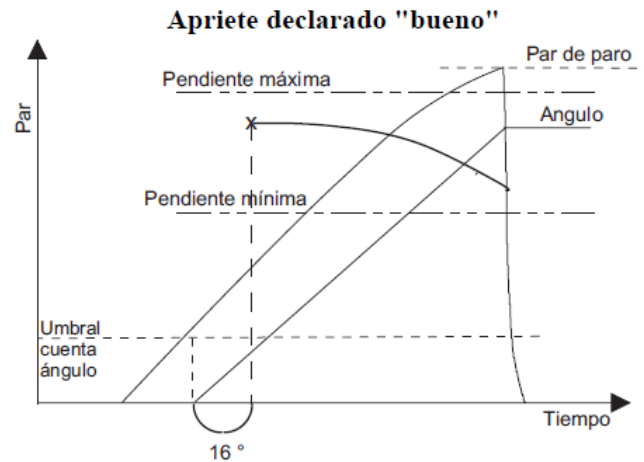


Figura 78: Apriete al par + ángulo + pendiente

e. Estrategia con control adicional (corriente):

Para hacer todavía más fiable la operación de apriete, se puede añadir un control de la corriente a la mayoría de las estrategias. Permite comprobar la coherencia entre el valor del par medido por el captador de par y la corriente consumida por el motor (Figura 79).

Dicha información de “corriente” varía de una herramienta a otra y no se calibra en función del par. Hay que establecer una concordancia de manera experimental para cada herramienta: hay que leer el valor de la corriente máxima al final del ciclo de test y luego ejecutar al menos 3 veces dicho ciclo para definir los valores de “corriente mínima” y “corriente máxima” que habrá que programar.

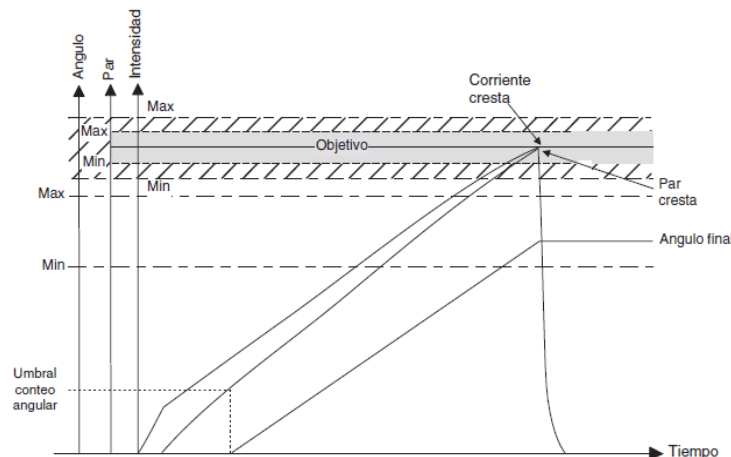


Figura 79: Control adicional de corriente

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

f. Apriete con mantenimiento al par:

Se utiliza para controlar la relajación en juntas muy elásticas o para mantener un esfuerzo en un ensamblaje durante una operación compleja (Figura 80). Durante esta fase, mientras el motor no ha alcanzado su valor de par, se efectúa el pilotaje motor en el bucle de velocidad. Cuando se alcanza el par de mantenimiento, el control y el mantenimiento al par se efectúan en el bucle de corriente. El tiempo de mantenimiento se puede ajustar entre 0,1 y 10 segundos. Debido al calentamiento motor, es recomendable que para este tipo de aplicaciones la unidad de apriete esté sobredimensionada.

El contacto térmico que se encuentra en el motor asegura la protección en caso de calentamiento.

El par máximo ha de ser programado con un valor superior al par de mantenimiento deseado.

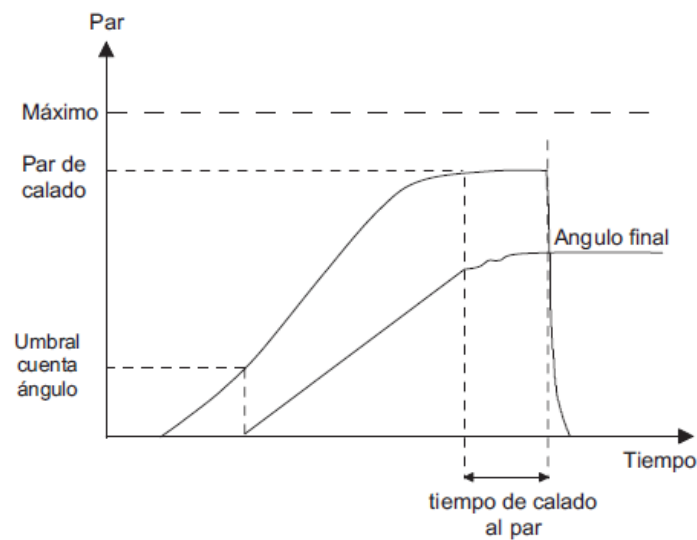


Figura 80: Mantenimiento al par

g. Par de rozamiento:

Esta fase permite controlar el par resistente (rozamiento) de un montaje mecánico.

Ejemplos de montaje mecánico: caja de cambios, cigüeñal, etc... Esta fase es útil para saber si el montaje tiene una "dureza" mecánica y también para detectar la no presencia de pieza en el ensamblaje (cojinete de cigüeñal o de biela, engranaje, control del par de fricción de una tuerca Nylstop) cuando el par resistente es superior al par mínimo.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

En el caso del par de rozamiento son posibles dos tipos de control, parándose sobre un ángulo o sobre un par

1 Control del par de resistencia, con parada por tiempo o ángulo:

La temporización inicial (disparo), señalada en tiempo o en ángulo, permite eliminar el “choque” al acelerar el motor y la mecánica del husillo. El resultado memorizado incluye los valores mínimo, máximo, así como la media de las mediciones de par durante la fase de adquisición. El sistema detiene la adquisición del par y del ángulo cuando se para el motor. No se tiene en cuenta el impulso de par cuando se para el motor (Figura 81).

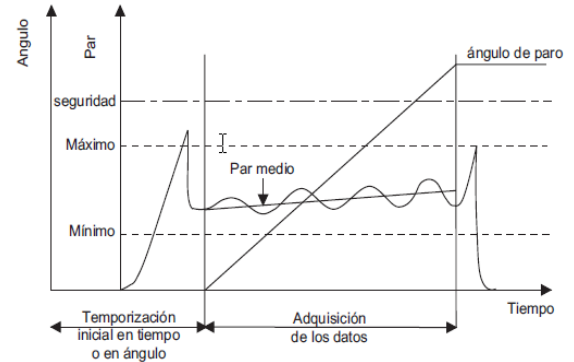


Figura 81: Parada por ángulo

2 Control del par de resistencia, con parada por par:

La fase se detiene cuando se alcanza el “par de parada”. Luego, se efectúa un control del par de resistencia entre los ángulos 1 (parámetro “ángulo”) y 2 (parámetro “ángulo mínimo”). (Figura 82).

Los valores de par memorizados son:

- i. El par inferior (detectado en esta zona angular 1-2),
- ii. El par superior (detectado en esta zona angular 1-2),
- iii. El par de cresta, medido durante toda la fase.

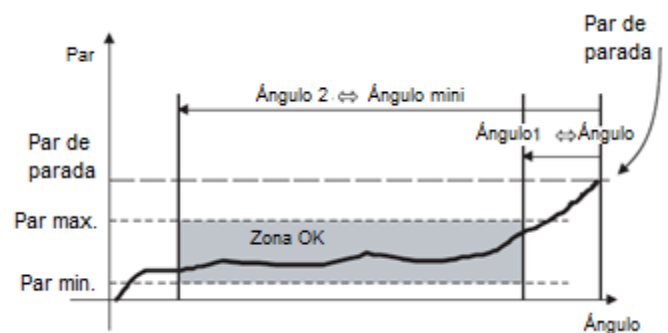


Figura 82: Parada por par

Se considera que el par es correcto si está situado dentro de esta zona angular, entre los parámetros del par mínimo y del par máximo.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

i. Desapriete al par + ángulo / ángulo + par:

Además del control de desapriete del tornillo, el sistema controla el número de grados realizados al mismo tiempo que mantiene un par residual en el tornillo (Figura 84).

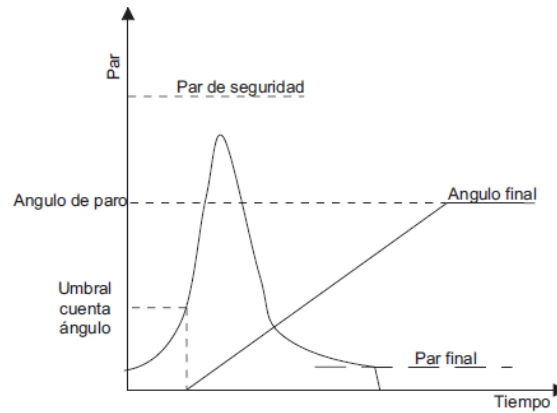


Figura 84: Desapriete al par + ángulo

j. Apriete sincronizado:

Se pondrá como ejemplo una junta con 4 tornillos.

El apriete mediante un único husillo requiere que éste se realice en cruz, lo que hace necesario al menos el reapriete del primer tornillo del proceso, ya que cuando el primer tornillo ha alcanzado el par, la junta todavía no ha asentado bien y ese tornillo, si se comprueba, puede haber quedado flojo.

El apriete mediante varios husillos unidos de forma sincronizada permite que no haya descompensación a la hora de apretar. Se puede, por tanto, apretar los dos primeros tornillos a la vez y asentar la junta distribuyendo uniformemente la fuerza de amarre a lo largo de la misma. Se ahorra tiempo ya que además de apretarlos todos al mismo tiempo no es necesario un posterior reapriete de los primeros tornillos.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

El controlador es capaz de gestionar 250 ciclos de apriete de 20 fases cada uno, por husillo.

La precisión de una herramienta eléctrica en cuanto a pares de apriete, y también en cuanto a ángulos, es uno de los factores que definen un buen apriete. Esta tecnología está a años luz de una herramienta neumática. Hoy en día hay en el mercado husillos eléctricos con controladores que pueden monitorizar todos los aprietes realizados por un husillo determinado (es capaz de identificar el husillo que tiene conectado). El controlador guarda gráficas de evolución de par a lo largo de cada proceso de apriete. Identifica todos los posibles aprietes malos y los cataloga según la causa (malos de par, de ángulo, etc).

Las herramientas eléctricas también son susceptibles de requerir un Estudio de Capacidad.

Para los estudios de capacidad de los husillos eléctricos se utilizan transductores de par debidamente calibrados y comprobados. Se colocan entre el husillo y la bocallave.

Además de posibles estudios de capacidad internos, el proveedor de la herramienta es, por encargo de JD, el autorizado a realizar la calibración anual que requiere este tipo de herramientas. Durante el proceso observa si los pares que refleja el transductor de par concuerdan con los que arroja el controlador, pudiendo ajustar (calibrar) los valores si la diferencia es razonable. Si la diferencia no es tan razonable, habría que analizar las causas más en detalle.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.3.3.2. Accesorios de los husillos eléctricos.

a. Brazos articulados

Los brazos articulados (Figura 85) han de elegirse teniendo en cuenta una serie de parámetros:

- Espacio en la línea de trabajo: Hay que elegir con la ayuda de Ingeniería de Planta el lugar donde se va a ubicar todo el conjunto que formará parte del puesto de montaje (lay out) para que no interfiera con las labores del operario de montaje ni con las de aprovisionamiento de línea. Lo más común es que en los puestos de montaje se ubiquen carros, prensas, atornillador(es), controladores, pistolas neumáticas, herramientas, almacenaje de carcasas, pasos de carretillas, etc.
- Peso propio y del husillo: El peso del brazo es importante, ya que es una estructura de aluminio y acero que ha de sostener el husillo y permitir todos los movimientos necesarios para el correcto apriete de los elementos de fijación.
- Par de apriete máximo del husillo: El husillo tiene una capacidad de apriete máxima según su especificación. El brazo que lo integre tiene que ser capaz de soportar ese par de apriete máximo aunque el proceso de apriete diga que el husillo vaya a trabajar al 50% de su capacidad. Esto es necesario porque las líneas de producción de una fábrica están “vivas” y cambian continuamente. Es posible, por tanto, que ese mismo conjunto de husillo y brazo tengan que trabajar al máximo de especificación en un momento dado.
- Posibilidad de utilizar *encoder* para determinar mediante coordenadas la ubicación de los tornillos a apretar y por ejemplo determinar de esta manera (si hay muchos tornillos en la caja), cuál es el que ha dado un error y es necesario reapretar o cambiar.
- Ergonomía del apriete: No es lo mismo, teniendo en cuenta las fuerzas que actúan sobre el brazo articulado, que el husillo se encuentre en forma horizontal o que lo esté en vertical a la hora de realizar el apriete.



Figura 85: Brazo articulado

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Este último punto da pie a la introducción de uno de los accesorios más necesarios cuando se utiliza un brazo articulado. Se trata del freno, fundamental en aprietes de elevado par, en los que la reacción a soportar puede ser muy elevada.

b. Freno.

Un brazo articulado con husillo debe incorporar una serie de elementos para estar completamente operativo. Algunos de ellos, como el freno, son prescindibles (Figura 86).

Como quedó reflejado en el anterior punto, los frenos son necesarios en aprietes de elevado par. Si el husillo trabaja de forma vertical es necesario incluir en eje vertical del brazo un freno que soporte la reacción que se produce de una forma u otra en el momento de dar el par final, y más si se trata de 300 N·m. Sin embargo, si el apriete es horizontal no es necesario un freno ya que el brazo soportará sin problemas la reacción del apriete.

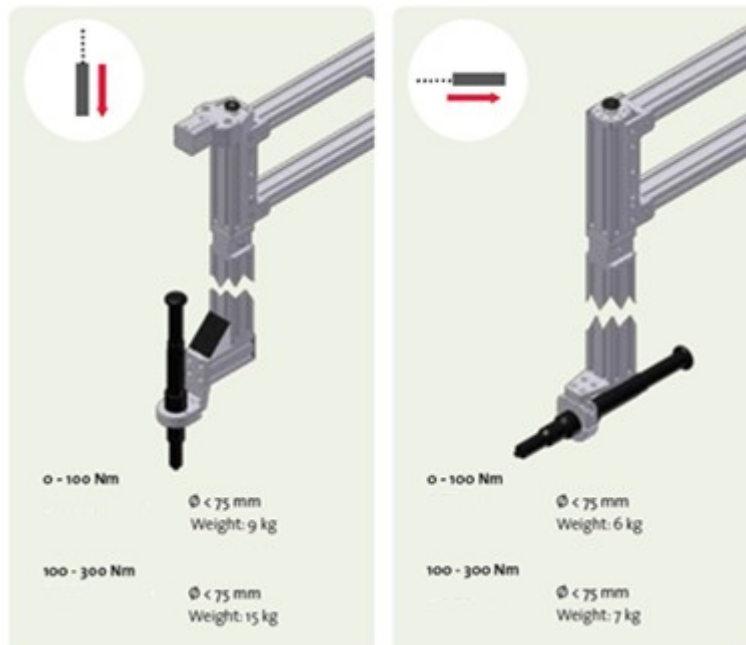


Figura 86: Posiciones con y sin necesidad de freno respectivamente

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Se trata de frenos neumáticos que al accionar el botón de inicio del apriete, envían aire comprimido al freno para que fije la posición del eje y poder absorber así la reacción.

Como medida de seguridad, si cuando se pulsa el botón de inicio del apriete y el freno no ha actuado, el apriete no se lleva a cabo para que si el freno falla, el operario no sufra la reacción de forma inesperada.

Teniendo en cuenta el uso que se le va a dar al brazo, es decir, el par de apriete de los tornillos a fijar, que lógicamente tendrá que entrar en la capacidad máxima del husillo, hay varias gamas de frenos que se pueden utilizar según.

1. Freno de pinza (casi en desuso)(Figura 87):



Figura 87: Freno de pinza

Su utilización es exclusiva para aprietes inferiores a los 300 N·m.

Una vez el operario pulsa el botón de puesta en marcha del husillo para realizar el apriete, se deja pasar aire comprimido hasta el freno, bloqueando la pinza y por tanto el eje del brazo al que está cosido el husillo.

La pinza interior dispone de un casquillo de bronce que abraza al eje. Éste casquillo tiene un desgaste lógico, y según documentación debe ser revisado su funcionamiento mensualmente y cambiado cuando se llegue a los 500.000 ciclos.

La forma de revisar el número de ciclos es sencilla, ya que cada ciclo queda grabado el controlador del husillo.

Dadas las características del casquillo de bronce, la pérdida de frenado se detecta poco a poco, “avisando” de la necesidad de cambiarlo.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

2. Freno de engranajes (o de embrague) (Figura 88):



Figura 88: Freno de engranajes

Es el tipo más empleado en la actualidad porque es el sistema más fiable y con menos mantenimiento, ya que en principio no pierde prestaciones con el paso de los ciclos.

Tanto la alimentación como la activación de este tipo de freno es similar a la del freno de pinza, pero en este caso la fijación la hacen unas coronas de dientes que embragan entre sí fijando la posición del eje del brazo.

- c. Cilindro neumático: Es el encargado de facilitar el movimiento vertical del brazo (Figura 89). Suele tratarse de un cilindro de doble efecto que permite que el manejo del brazo sea suave y que a la vez se mantenga fijo en su posición. Para ello hay que establecer un compromiso entre la presión que llega a ambas entradas del cilindro neumático.

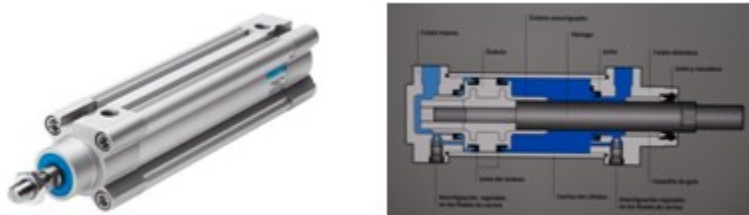


Figura 89: Cilindro neumático

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- d. Multiplicador de presión con calderín: Como caso concreto, la red neumática de una fábrica como JDISA, aunque esté bien dimensionada, no puede absorber picos de demanda cuando por ejemplo se emplean a la vez múltiples elementos neumáticos. Por eso, a veces, cuando el brazo es muy pesado y además la demanda de aire puede afectar a la suavidad de manejo del mismo, es conveniente utilizar un multiplicador de presión con un calderín que garantice que el cilindro siempre está alimentado a la presión adecuada (Figura 90).



Figura 90: Multiplicador de presión y calderín

- e. Caja de bocas: Es común que los programas de apriete se gestionen mediante el intercambio de las bocas del husillo (Figura 91).

Las bocas se mantienen en un soporte electrónico conectado al controlador. Al seleccionar un trabajo de apriete, el controlador indica qué boca coger y en qué orden de acuerdo a los programas de apriete que forman dicho trabajo y a la secuencia de apriete de la caja. De esta forma es más difícil equivocarse y dar un par incorrecto a los tornillos y que éstos queden flojos o por el contrario rompan dentro del alojamiento haciendo muy difícil su extracción.



Figura 91: Caja de bocas

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.4. Proceso de ensamblaje

El proceso de ensamblaje es la manera mediante la cual se monta el elemento que se quiere fabricar. Se han de seguir unos pasos determinados. Igual que no se puede empezar una casa por el tejado, se hace necesario conocer cada pieza al detalle. Una vez hecho esto, el departamento de manufactura, el de producción y el de diseño comienzan el montaje del primer prototipo siguiendo las instrucciones de estos últimos.

En muchos casos es necesario retocar planos y diseños de piezas debido a su dificultad de montaje. Hay que minimizar todo lo posible los “cuellos de botella” del proceso. Para ello todos los departamentos trabajan codo con codo estableciendo el proceso de ensamblaje más adecuado. Normalmente impera la experiencia previa de los participantes en el montaje. Años de experiencia sirven para identificar los tipos de herramientas necesarias a partir del plano.

Una vez descrito el proceso, identificado las características de los pares, interferencias con otras piezas, puesto de trabajo idóneo y demás inversiones necesarias para la realización del montaje, se pasa a hacer la elección de las herramientas de apriete.

En primer lugar hay que ver si la herramienta es para aproximar tornillos (o tuercas) o para dar el par final:

- Si es para aproximar puede ser suficiente con una herramienta neumática de impactos. Actualmente están en desuso debido a los niveles de ruido y vibración, por lo que la opción más lógica sería una neumática de impulso común.
- Si se necesita dar el par final, entonces hay ir a herramientas con corte y/o desconexión o bien a husillos eléctricos.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

En segundo lugar hay que tener en cuenta la criticidad y tolerancia de la junta así como el valor de par de la misma:

- Para pares medios y bajos con tolerancia poco restrictiva se puede dar el par “a mano” utilizando una llave dinamométrica de rotura (Figura 92).



Figura 92: Llave Dinamométrica

- Para pares medios y bajos con tolerancia estrecha es necesario utilizar neumáticas con control de par (Figura 93) o bien husillos eléctricos.



Figura 93: Pistola Neumática
par controlado

- Para aplicaciones de par alto y tolerancia poco estrecha se pueden usar los multiplicadores de par como los de la Figura 94.



Figura 94: Multiplicador de par

- Para pares altos y tolerancia estrecha se usan husillos eléctricos (Figura 95) que garantizan el par y son capaces de controlar muchos parámetros que influyen en la unión.



Figura 95: Husillo eléctrico

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Para verlo de forma esquemática se puede utilizar el esquema de la Figura 96:

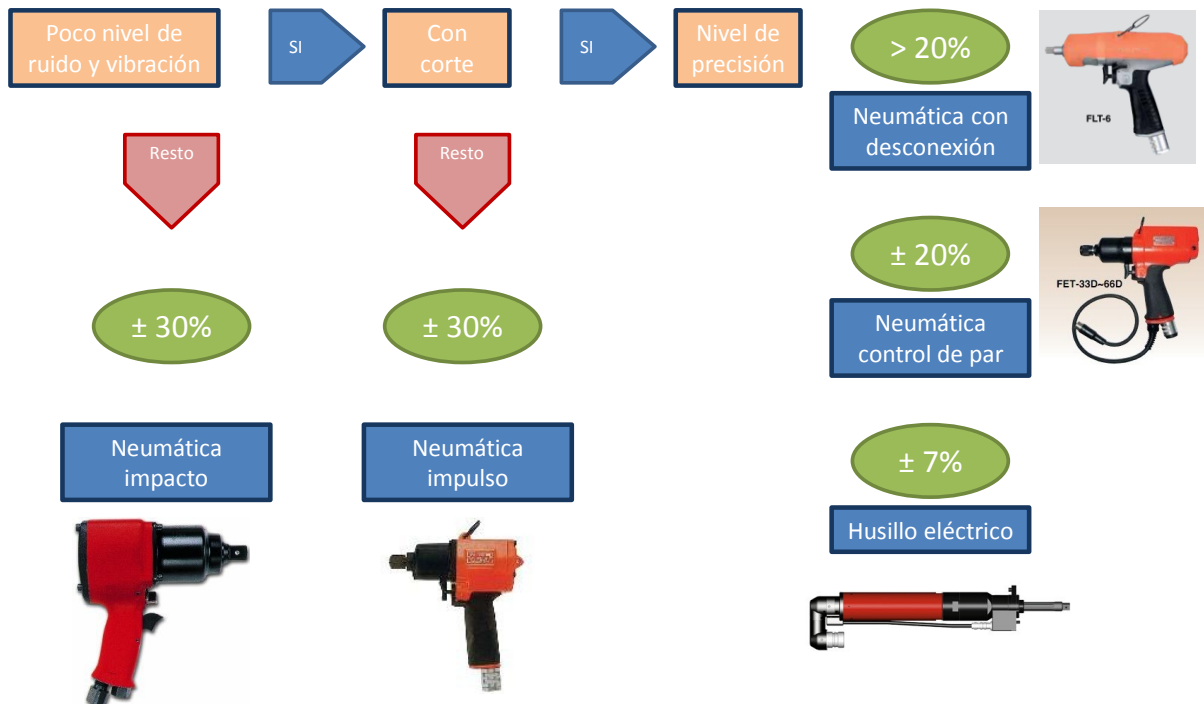


Figura 96: Esquema selección de herramientas

En tercer lugar hay que ver el espacio que hay para la manipulación de cierto tipo de herramientas y sus accesorios:

- En ocasiones es necesario colgar la herramienta de un equilibrador como el de la Figura 97. En fábricas es común colocar las herramientas en alto para que no estorben al pasar por la línea y para que sea más fácil su manejo.



Figura 97: Equilibrador

- Para aprietes altos la herramienta debe incluir una barra de reacción (Figura 98), para que el operario no absorba con su cuerpo la reacción del apriete.



Figura 98: Uso barra de reacción

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- En aprietes con husillos eléctricos es necesario instalar un controlador (Figura 99), por lo tanto hay que ver en qué posición se puede colocar, para que no sufra golpes ni se pueda dañar con nada.



Figura 99: Controlador husillos eléctricos

Por último, hay que tener en cuenta la inversión y lo que supone un tipo de herramienta u otro. Se establece entonces en la Tabla 5 una comparativa para orientar sobre los valores de cada instalación.

Tabla 5: Comparativa de inversiones

Herramienta	Inversión hta	Accesorios	Instalación	Programación	Mantenimiento	Inversión total
Neumática impacto	10	Bocas, alargos			Aceitado periódico	11
Neumática impulso	19	Bocas, alargos			Aceitado periódico	20
Neumática control de par	65	Controlador, Cable especial	Regulador de presión de aire, Equilibrador	Nivel de programación medio	Aceitado y comprobación del regulador periódicas	80
Eléctrica	90	Controlador, Caja de bocas, Cable especial	Brazo de reacción	Nivel de programación avanzado	Calibración anual y comprobaciones periódicas	130

A veces la herramienta idónea para el trabajo no siempre lo es para el operario, para las características del puesto o por cualquier motivo de interferencia con instalaciones previas, por lo que, una vez se elige el tipo de herramienta que a priori es la óptima, hay que hacer una prueba y comprobar que se adapta tanto a las necesidades como al operario que tendrá que realizar la tarea.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.5. Estudio de capacidad (CPK)

Un Estudio de Capacidad es una forma de demostrar que un proceso es estable. En este caso se trata de demostrar que los medios de apriete empleados en la cadena de producción son adecuados y los valores que arroja están dentro de los límites de tolerancia establecidos por el diseñador.

En John Deere existe una Instrucción Técnica dedicada a los Estudios de Capacidad, cuyo alcance se describe a continuación:

La instrucción técnica debe aplicarse a la hora de estudiar la capacidad de procesos y/o de máquinas. Se empleará para analizar el comportamiento de equipos nuevos o reformados, procesos nuevos o modificados, cambio o transformación de utillajes y piezas nuevas o rediseñadas. También es de aplicación en los casos en los que se deba analizar el comportamiento del proceso.

La documentación de referencia es la siguiente:

- Manual de Calidad de JD
- Norma UNE-EN-ISO 9001:2008
- Procedimiento corporativo P311 Capability Study (CS)
- Diagrama de flujo del procedimiento
- IT para análisis de repetibilidad y reproducibilidad de calibres (Gauge R&R)

4.5.1. Realización

- a. Deberá realizarse un estudio de capacidad sobre todas las características críticas del producto y del proceso.
 - Las características críticas del producto, en caso de existir, deben estar definidas en el plano y requerirán de su monitorización durante producción. El equipo PDP (Product Development Process) definirá cuál es el mejor método de hacerlo
 - En lo referente a las características críticas del proceso, el equipo PDP debe usar las herramientas de Calidad a su disposición para identificar los puntos de proceso que requieren una monitorización. Dichas herramientas pueden ser PFMEA, DPAR, Revisión de resultados de Garantías o Históricos de Problemas de Calidad con el cliente en productos similares, entre otros

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

- b. El grupo de trabajo designado para llevar a cabo el estudio de capacidad (Ingeniería de Manufactura, Ingeniería de Calidad, Ingeniería de Producción, etc.) tendrá en cuenta los siguientes pasos para su realización.
 - Determinar el número de piezas (mínimo recomendado 30) y características a medir (al menos, deberán ser las características críticas del producto / proceso)
 - Seleccionar el equipo con el que se harán las mediciones. Si es posible, deberían emplearse los calibres o sistemas de medidas de los que se disponga en el proceso. Además, estos sistemas deben haber demostrado ser fiables mediante la realización de un estudio repetibilidad y reproducibilidad de calibres (Gauge R&R)
 - Las piezas a emplear en el estudio deberán numerarse para facilitar la recogida de datos y un posterior análisis de los mismos
- c. Una vez recogidos los datos, se analizarán empleando el formulario adjunto a la instrucción técnica o bien mediante aplicaciones como *Statistica* o similar.
- d. Los resultados se revisarán por el equipo de trabajo. Como requisito para la aprobación del estudio, debe obtenerse un valor de CPK mínimo de 1,33 (salvo indicación en contra, en cuyo caso puede ser mayor)
- e. En caso de que el resultado no sea satisfactorio, debe abrirse una acción correctiva. El resultado de la implantación de la misma deberá verificarse mediante la realización de un nuevo estudio de capacidad que satisfaga el criterio de aceptación.

Para ilustrar un estudio de capacidad (Figura 100) se realiza una toma de medidas para un par de $50 \pm 20\%$ (Tabla 6).

Tabla 6: Valores CPK

52,3	55,1
56,1	56,0
52,7	55,4
56,0	53,7
49,7	53,1
57,3	55,4
54,8	51,5
51,4	53,7
51,4	52,6
50,5	56,3
53,3	53,8
50,9	53,2
52,5	57,2

Los valores son tomados con una herramienta dinamométrica digital. En el propio archivo de introducción de datos se establece el % del valor que se ha de descontar debido al error de precisión de la herramienta y al error a la hora de utilizar la dinamométrica por parte del auditor.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

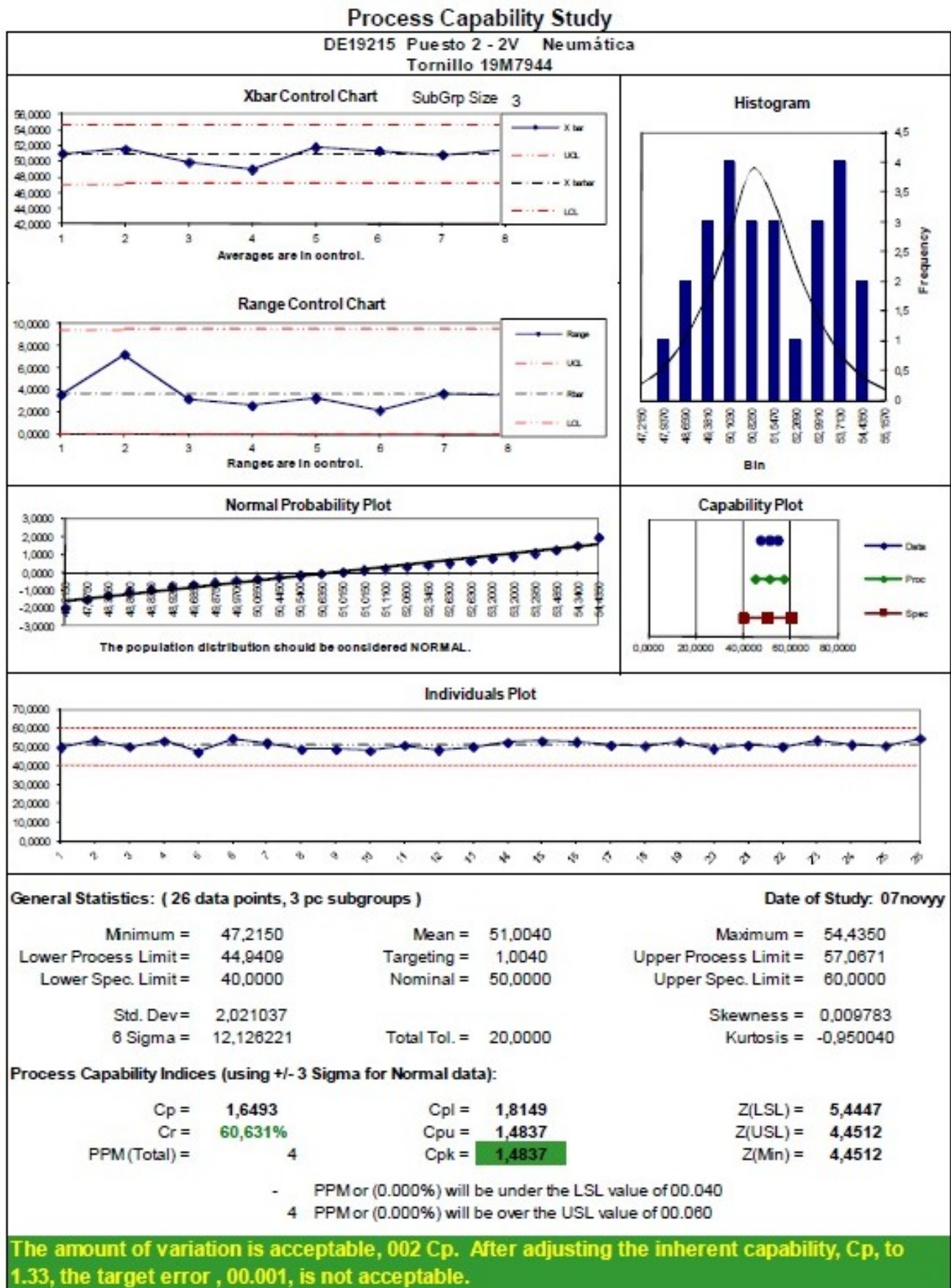


Figura 100: Ejemplo de estudio de capacidad

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.5.2. Comprobación de pares

No tienen la categoría de estudios de capacidad, pero hay una norma interna de JD relacionada con la capacidad de las máquinas. Se trata de la comprobación de pares.

Es muy difícil controlar absolutamente todos los aprietes que existen en una fábrica del tamaño de JDISA.

La relación de los aprietes realizados bien con herramientas eléctricas o bien neumáticas con control de par son sencillos de almacenar, bien en la memoria interna de los propios controladores de husillos o bien gracias a “trazabilidad” (abarca desde dinamométricas con señal hasta husillos eléctricos).

El problema es controlar los pares de apriete de herramientas manuales (llaves dinamométricas y pistolas neumáticas). Por eso, cada mini-fábrica está equipada con un comprobador digital de pares, comúnmente llamado “banco de medida” (Figura 101).

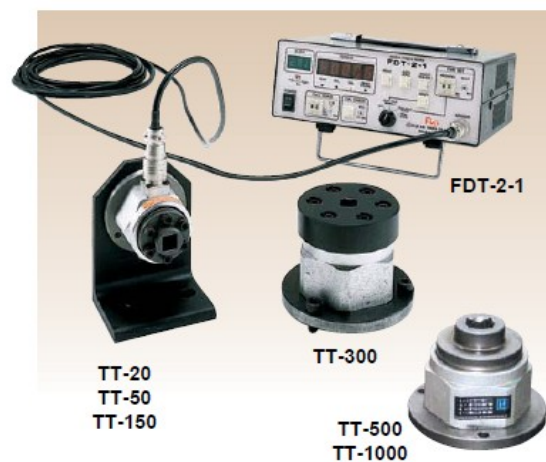


Figura 101: Comprobador digital y transductores

Es un banco en el cuál hay instalados una serie de transductores que cubren el rango de par de todas las herramientas de la fábrica.

El comprobador digital puede controlar cualquier tipo de transductor, en lo que a rango se refiere, mediante el cable de conexión. Como es lógico, tanto el comprobador como los transductores tienen que estar debidamente calibrados para que a la hora de comprobar las herramientas el dato que arroje sea fiable, ya que una desviación de los resultados de par puede afectar negativamente a la producción.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

Ante cualquier duda que pueda surgir sobre si una herramienta es fiable a la hora de aplicar el par, tanto operarios como supervisores están en su deber de acudir al “banco” y comprobarlas directamente. Una herramienta no fiable es un posible error de apriete en la cadena de montaje y un posible fallo en servicio de la pieza fabricada.

Cada herramienta de la fábrica dispone de una tarjeta de calibración (Figura 102), en la que debe figurar el valor de par al que está tarada y el valor obtenido en la comprobación de la misma. Cuando se comprueba la herramienta se ha de anotar en la tarjeta el valor de par obtenido. Esto ayudará a ver la tendencia de dicha herramienta y en el caso de las pistolas neumáticas poder ajustar el par mediante el tornillo de tarado. El caso de las llaves dinamométricas manuales hay que ver que están dentro del 10% de precisión y si no es así, sustituirla por una nueva.




JOHN DEERE

Referencia.- Par

<u>FECHA REV.</u>	<u>FIRMA</u>	<u>RESULTADO</u>

Figura 102: Tarjeta comprobación de pares

Las herramientas eléctricas, como ya se ha visto, son especiales, ya que sus resultados de apriete quedan almacenados en el controlador (hasta un número determinado a partir del cual comienzan a sobrescribirse) y también en el servidor de trazabilidad (con una memoria bastante más extensa, pero guardando menos cantidad de datos).

Se pueden considerar especiales también las pistolas neumáticas con control de par, ya que sus aprietes se guardan, al igual que las eléctricas, en el servidor de trazabilidad.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

4.5.3. Auditoría de pares

El proceso de auditado de pares es complejo. En la actualidad, y para auditar pares de poca criticidad, se emplean herramientas dinamométricas digitales. El par de arranque que miden estas herramientas, es decir, el par que se encuentra nada más comienza a girar el tornillo, poco o nada tiene que ver con el par de aplicación del tornillo al ser apretado.

Existe, desde hace décadas, la controversia de si en el plano se especifica el par de apriete o el de verificación. Pues bien, esto depende del diseñador de la unión atornillada. Él es quien decide el valor de par que aparece en el plano atendiendo a la fuerza de amarre necesaria para la correcta unión de los elementos.

El departamento de Manufactura entiende que el valor que aparece en el plano es el valor al que hay que apretar el tornillo para conseguir la fuerza de amarre calculada por el diseñador. Sin embargo el departamento de Auditorías considera que el valor del plano es el valor que tiene que conseguir cuando comprueba los pares.

Pues bien, este último razonamiento es erróneo. Lo que no hay que perder de vista es la fuerza de amarre. Si un tornillo alcanza la fuerza de amarre calculada para él, el par que se compruebe en dicho tornillo no debería influir, siempre y cuando no esté flojo o tan apretado que se haya dañado algún elemento de la unión.

El método más común, como se ha visto, para calcular el par al que se ha apretado un tornillo, es el siguiente:

Se toma una dinamométrica digital y se sigue apretando, despacio y con cuidado de no dar tirones. Cuando el tornillo comienza a girar se anota el valor de par obtenido. Normalmente existe un acuerdo de que hay que restar alrededor de un 5% al valor obtenido para tener el valor real, ya que al seguir apretando se ha aumentado el par. Se estableció este método como válido aunque no es fiable al 100% ya que todo depende del tipo de unión. Para uniones rígidas, por ejemplo, puede ser de un 2%, y para elásticas de un 8%.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

El valor obtenido en la pantalla es en realidad el par resistente, es decir, el que se utiliza para vencer el rozamiento estático de la cabeza del tornillo con el alojamiento de la misma (Figura 103). Una vez se supera ese valor de par, se pasa a medir el par dinámico, que como es inferior al resistente, la dinamométrica digital simple no lo puede calcular porque solamente arroja valores pico de par.

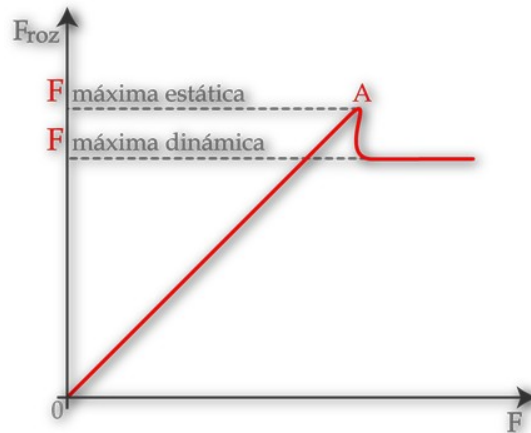


Figura 103: Variación de la fuerza de rozamiento

Para ello existen unas dinamométricas digitales con control angular, que comienzan a medir tras un giro de entre 0 y 15 grados del tornillo. Son más complejas y se hace necesario conocer muy bien las uniones atornilladas para poder programar el valor del ángulo a partir del cual medir el valor de par.

En opinión del autor del presente proyecto, y tras haber sopesado los razonamientos de ambos departamentos, se hace necesario auditar los aprietes tanto inmediatamente después de realizarse como pasadas unas horas, unos días o unas semanas, para trazar una equivalencia entre par aplicado y par auditado. Para ello es indispensable que las herramientas de apriete estén calibradas, comprobadas, en buen estado y que su manipulación sea la correcta.

4. ELEMENTOS DE UNA UNIÓN ATORNILLADA

En ciertas fábricas se utiliza la transmisión de datos de apriete vía WIFI, y a continuación se hará una evaluación de lo que la instalación de una red WIFI de aprietes supondría para JDISA.

Las ventajas de una red WIFI son:

- Registro de todos los datos de apriete del puesto, de la línea o de la fábrica.
- Acceso instantáneo a todos los datos relacionados con el apriete desde cualquier punto de la fábrica o del mundo (a través de la dirección web del servidor).
- Completa transparencia de producción y control de calidad.
- Minimización de costes debidos a reprocesos.
- Prevenir envíos de productos defectuosos.
- Eliminación de cualquier proceso que implique recolección manual de datos.

Con una interface adecuada se podría:

- Acceder cada departamento a los datos que le resulten relevantes (Mantenimiento, Producción, Gerencia,...).
- Generar reportes automáticos programados de: aprietes, estadísticos, productivos...
- Realizar estudios de capacidad instantáneos.
- Comprobar un histórico de errores (aprietes sin realizar, manipulaciones).
- Reprogramar los trabajos de apriete para lotes determinados (prototipos).
- Comprobar un histórico de programas con los cambios que se han ido sucediendo en los mismos.
- Realizar un back up de todos los programas y de todos los datos y tratarlo de acuerdo a las normas internas de la compañía.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

El producto Knife Drive Generación III evolucionará en las nuevas cosechadoras de la serie 8000 a Knife Drive Generación IV. Se mejora el diseño y las prestaciones de la máquina para ser incorporado en los peines de cosechar de mayor tamaño. La máquina convierte el movimiento circular transmitido desde el eje de entrada en un movimiento de vaivén que hará mover el peine de la cosechadora.

Para su actualización se va a contar con la última tecnología en aprietes. Se trata de la tecnología descrita en el capítulo 4, husillos de apriete eléctricos.

Se puede ver tanto el producto en sí, como el explosionado del conjunto, en la Figura 104:

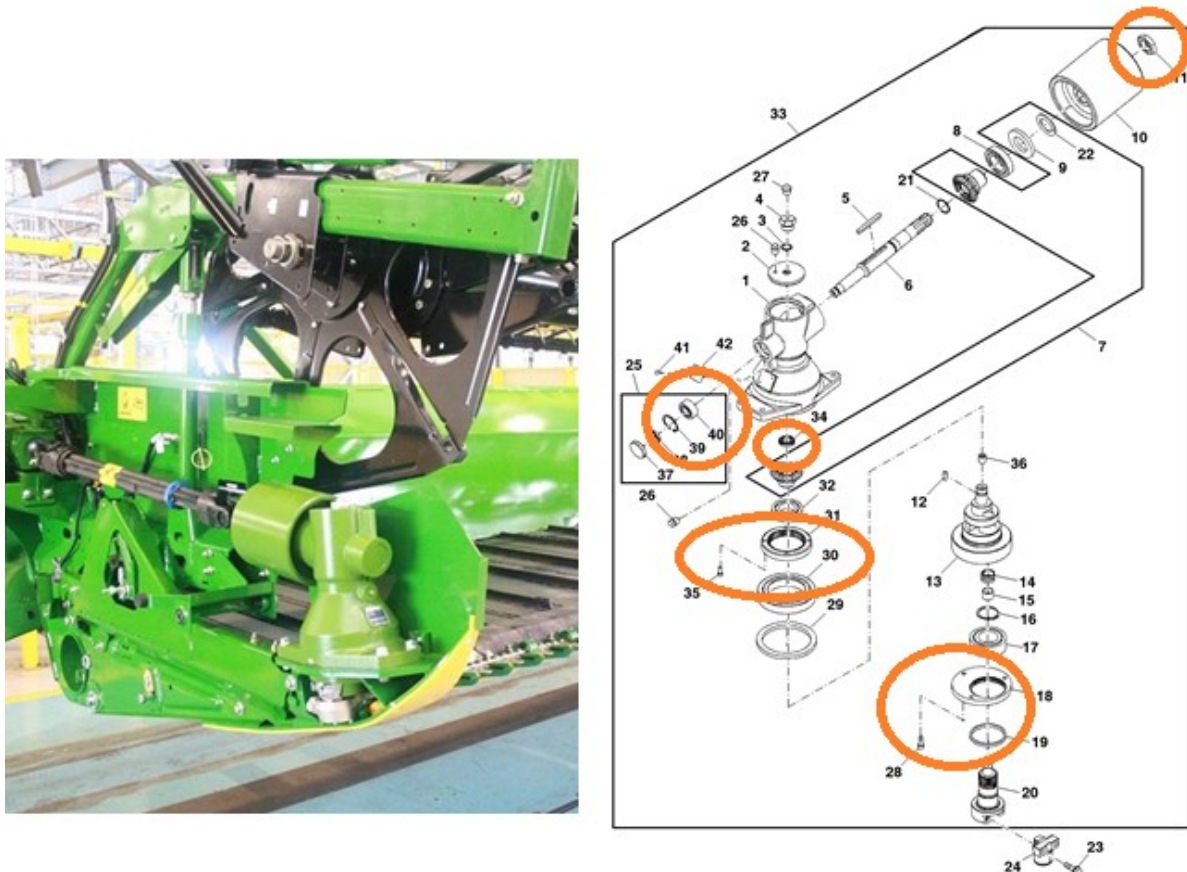


Figura 104: Knife Drive Gen IV

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Aprovechando la actualización del producto, se ha decidido también actualizar el puesto de montaje e instalar herramientas de apriete eléctrico, que sustituirán a las pistolas neumáticas, llaves dinamométricas y al multiplicador de par existentes.

Para la actualización de los medios de apriete existe una estrategia a seguir para su correcta elección e implantación. Consta de los siguientes pasos:

1. Conocer los pares según plano.
2. Conocer y describir los elementos de la unión.
3. Estudio de los modos de fallo de proceso (PFMEA).
4. Establecer los medios de apriete.
5. Programación preliminar y cambios necesarios.
6. Gráficas de los aprietes.

5.1. Pares según plano

Los pares de apriete según plano de Knife Drive son los siguientes:

Apriete 1. Corona interior (Figura 105):

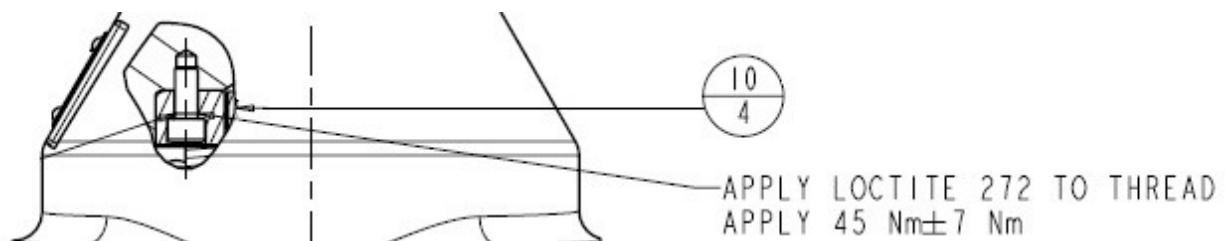


Figura 105: Plano Apriete 1

Apriete 2. Tapa (Figura 106):



Figura 106: Plano Apriete 2

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Apriete 3. Tuerca eje intermedio (Figura 107):

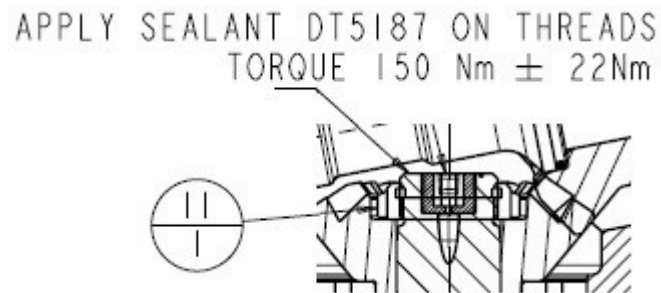


Figura 107: Plano Apriete 3

Apriete 4. Tuerca eje entrada (Figura 108):

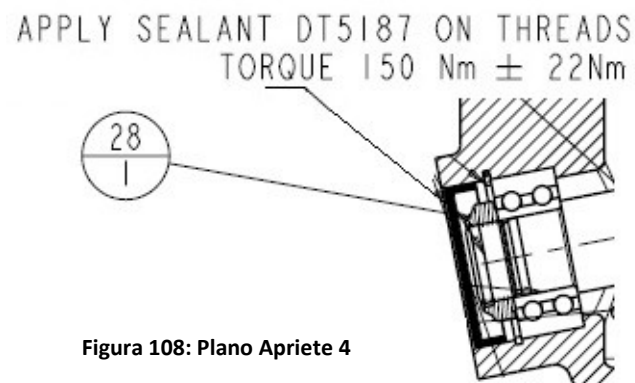


Figura 108: Plano Apriete 4

Apriete 5. Tuerca volante inercia (Figura 109):

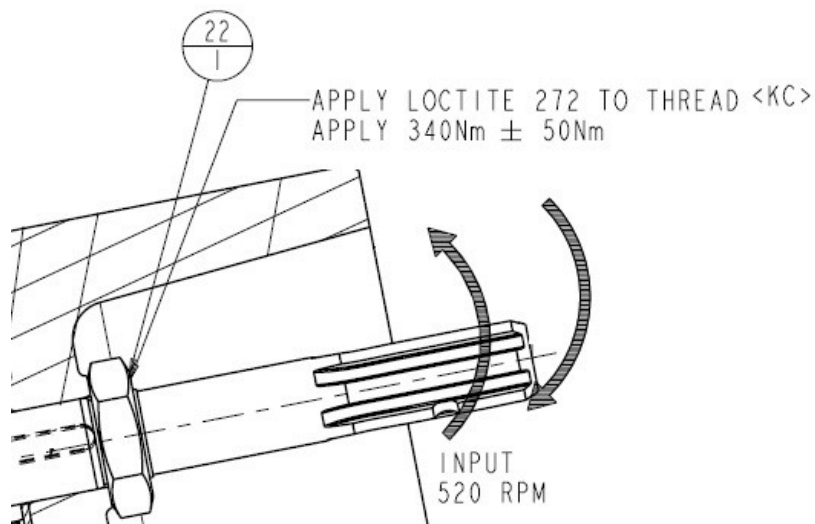


Figura 109: Plano Apriete 5

<KC> hace referencia a del apriete. Esta que es necesario que ese apriete quede reflejado en trazabilidad.

una característica crítica característica consiste en

Como se verá más tarde, éste es uno de los aprietes más complicados de fábrica.

5.2. PFMEA (Análisis de los Modos de Fallo de Proceso)

Una vez los ingenieros de producción facilitan el proceso de montaje hay que evaluarlo mediante un PFMEA.

El PFMEA es un método mediante el cual se tienen en cuenta los potenciales modos de fallo que pueden darse durante un proceso de montaje, se buscan causas y se proponen soluciones. Lógicamente este análisis se hace de todo el proceso de montaje y en él intervienen ingenieros de los departamentos de Calidad, Manufactura, Producción, Auditorías, etc. Debido a que el presente proyecto trata de aprietes, el siguiente PFMEA incluye únicamente los resultados de los mismos.

En la Tabla 7 de la página siguiente se puede ver el PFMEA realizado para el caso que está siendo analizado.

En primer lugar se describe el paso del proceso que se va a evaluar y a continuación se escriben los posibles modos de fallo que pueden darse durante dicho paso del proceso. El análisis se realiza explicando los posibles efectos del fallo y el grado de severidad del mismo (1 el menos severo y 3 el más severo). Seguidamente se busca una posible causa al fallo, indicando el nivel de ocurrencia (1 el menos frecuente y 3 el más frecuente [en casos como el actual, que es un nuevo proyecto, nos basamos en la ocurrencia de los fallos que existen en la generación actual de la caja de engranajes]). La siguiente etapa es ver los controles existentes y cómo de detectable es dicho modo de fallo (1 si es muy detectable y 3 si es poco detectable).

El resultado del PFMEA es la multiplicación de los valores obtenidos para cada modo de fallo. El número más alto implica mayor gravedad, por lo que será necesario tomar medidas con urgencia.

Atendiendo a esa gravedad se establecen las acciones recomendadas, el responsable de implementar las mismas y la fecha en la que se tomarán las medidas oportunas para evitar en lo posible el modo de fallo correspondiente.

Los principales modos de fallo son los que tienen que ver con el operario. Los olvidos, aunque raros, pueden existir. Los fallos de los medios de apriete también son escasos, aunque, como todas las máquinas, pueden averiarse.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Tabla 7: PFMEA de los aprietes de Knife Drive IV

Failure Modes Effects Analysis

Process or Product Name:	Knife Drive Gen IV.										Prepared by:	Pedro del Arco Pando, Carlos Hernanz, Alberto Lagares, José Escolar.		Page:	of
Process Owner:	John Deere Ibérica S.A.										FMEA Date (Orig):	25/06/2013		Revised:	16/09/2013
Key Process Step or Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Actions Recommended	Resp.	Actions Taken	SEV	OCC	DET	RPN
What is the Process Step or Input?	In what ways can the Process Step or Input fail?	What is the impact on the Key Output Variables once it fails (customer or internal requirements)?	How Severe is the effect to the customer?	What causes the Key Input to go wrong?	How often does cause or FM occur?	What are the existing controls and procedures that prevent either the Cause or the Failure Mode?	How well can you detect the Cause or the Failure Mode?		What are the actions for reducing the occurrence of the cause, or improving detection?	Who is Responsible for the recommended action?	Note the actions taken. Include dates of completion.				
A1.1 - Tornillos CE18661 (4) - Aplicar Loctite 272 en la rosca.	No se da Loctite	Posible afloje	2	Olvido de operario	1	Cartel indicador en el puesto de trabajo	3	6	Colocación de Loctite junto a los tornillos	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	2	1	3	6
A1.2 - Apuntar los (4) tornillos a mano en la corona.	Falta un tornillo	Funcionamiento correcto, acortamiento vida de la caja	3	Olvido de operario	1	Caja de bocas programada / Programa de 4 aprietes / Trazabilidad	1	3	1- Poka Yoke de elementos a montar en cada caja. 2- Poka Yoke y bloqueo de aprietes hasta que no se realicen los 4 aprietes	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A1.2 - Apuntar los (4) tornillos a mano en la corona.	Faltan todos	Funcionamiento incorrecto	3	Olvido de operario	2	Caja de bocas programada / Programa de 4 aprietes / Trazabilidad	1	6	Poka Yoke y bloqueo de aprietes hasta que no se realicen los 4 aprietes correctamente.	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	2	1	6
A1.3 - Apretar a 45 Nm. ±15% (38,25-51,75 Nm) apretando en cruz.	Dar par de 50 N.m	Funcionamiento correcto (dentro de tolerancia)	1	Elección de programa de apriete erróneo	1	Caja de bocas programada / Programa 50 N.m de 3 aprietes	1	1	Comprobar que la programación es correcta y el buen funcionamiento de la máquina.	Departamento de manufactura.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	1	1	1	1
A1.3 - Apretar a 45 Nm. ±15% (38,25-51,75 Nm) apretando en cruz.	Dar par de 150 N.m	Rotura del tornillo y/o pieza	3	Elección de programa de apriete erróneo	1	Caja de bocas programada / Programa 50 N.m de 3 aprietes	1	3	Comprobar que la programación es correcta y el buen funcionamiento de la máquina.	Departamento de manufactura.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A2.1 - Tornillos 19M9419 (3) - Aplicar Loctite 272 en la rosca.	No se da Loctite	Posible afloje	2	Olvido de operario	1	Cartel indicador en el puesto de trabajo	3	6	Colocación de Loctite junto a los tornillos	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	2	1	3	6
A2.2 - Apuntar los (3) tornillos a mano sobre la tapa.	Falta un tornillo	Posible correcto funcionamiento, acortamiento vida de la caja	3	Olvido de operario	1	Caja de bocas programada / Programa de 3 aprietes / Trazabilidad	1	3	1- Poka Yoke de elementos a montar en cada caja. 2- Poka Yoke y bloqueo de aprietes hasta que no se realicen los 4 aprietes correctamente.	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A2.2 - Apuntar los (3) tornillos a mano sobre la tapa.	Faltan todos	Funcionamiento incorrecto	3	Olvido de operario	2	Caja de bocas programada / Programa de 3 aprietes / Trazabilidad	1	6	Poka Yoke y bloqueo de aprietes hasta que no se realicen los 4 aprietes correctamente.	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	2	1	6
A2.3 - Apretar a 50Nm ±15% (42,5-57,5 Nm).	Dar par de 45 N.m	Funcionamiento correcto (dentro de tolerancia)	1	Elección de programa de apriete erróneo	1	Caja de bocas programada / Programa 50 N.m de 3 aprietes	1	1	Comprobar que la programación es correcta y el buen funcionamiento de la máquina.	Departamento de manufactura.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	1	1	1	1
A2.3 - Apretar a 50Nm ±15% (42,5-57,5 Nm).	Dar par de 150 N.m	Rotura del tornillo y/o pieza	3	Elección de programa de apriete erróneo	1	Caja de bocas programada	1	3	Comprobar que la programación es correcta y el buen funcionamiento de la máquina.	Departamento de manufactura.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A3.1 - Tuerca CE18663 (1) - Apuntar a mano.	Falta la tuerca	Funcionamiento incorrecto	3	Olvido de operario	1	Poka Yoke de elementos a montar en cada caja.	1	3			12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A3.2 - Apretar a 150 Nm ±15% (127,5-172,5 Nm).	Dar par de 45 o 50 N.m	Posible afloje	3	Elección de programa de apriete erróneo	1	Caja de bocas programada	1	3	Comprobar que la programación es correcta y el buen funcionamiento de la máquina.	Departamento de manufactura.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A4.1 - Tuerca CE18662 (1) - Apuntar a mano.	Falta la tuerca	Funcionamiento incorrecto	3	Olvido de operario	1	Poka Yoke de elementos a montar en cada caja.	1	3			12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A4.2 - Apretar a 150 Nm ±15% (127,5-172,5 Nm).	Dar par de 340 N.m	Rotura de tuerca y/o pieza	3	Elección de programa de apriete erróneo	1	Caja de bocas programada	1	3	Comprobar que la programación es correcta y el buen funcionamiento de la máquina.	Departamento de manufactura.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A5.1 - Tuerca CE19586 (1) - Aplicar Loctite 272 a la rosca.	No se da Loctite	Posible afloje	2	Olvido de operario	1	Cartel indicador en el puesto de trabajo	3	6	Colocación de Loctite junto a la tuerca.	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	2	1	3	6
A5.2 - Apuntar a mano sobre el eje.	Falta la tuerca	Funcionamiento incorrecto	3	Olvido de operario	1		1	3	Poka Yoke de elementos a montar en cada caja.	Departamento de producción.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3
A5.3 - Apretar a 340Nm ±15% (289-391 Nm).	Dar par de 150 N.m	Posible afloje	3	Elección de programa de apriete erróneo	1		1	3	Comprobar que la programación es correcta y el buen funcionamiento de la máquina.	Departamento de manufactura.	12/09/2013 - Implementadas todas las acciones recomendadas	3	1	1	3

5.3. Medios de apriete

5.3.1. Lay-Out

Los medios de apriete que se implantarán en esta modificación se eligen teniendo en cuenta el espacio disponible en línea y los planos que da el fabricante sobre los brazos de reacción que se deben instalar (Figura 110).

En este caso los aprietes se realizarán en dos puestos distintos. El proceso de montaje se realizará de derecha a izquierda, abarcando el primer puesto (derecha) los aprietes 1, 2 y 3, y el segundo puesto los aprietes restantes.

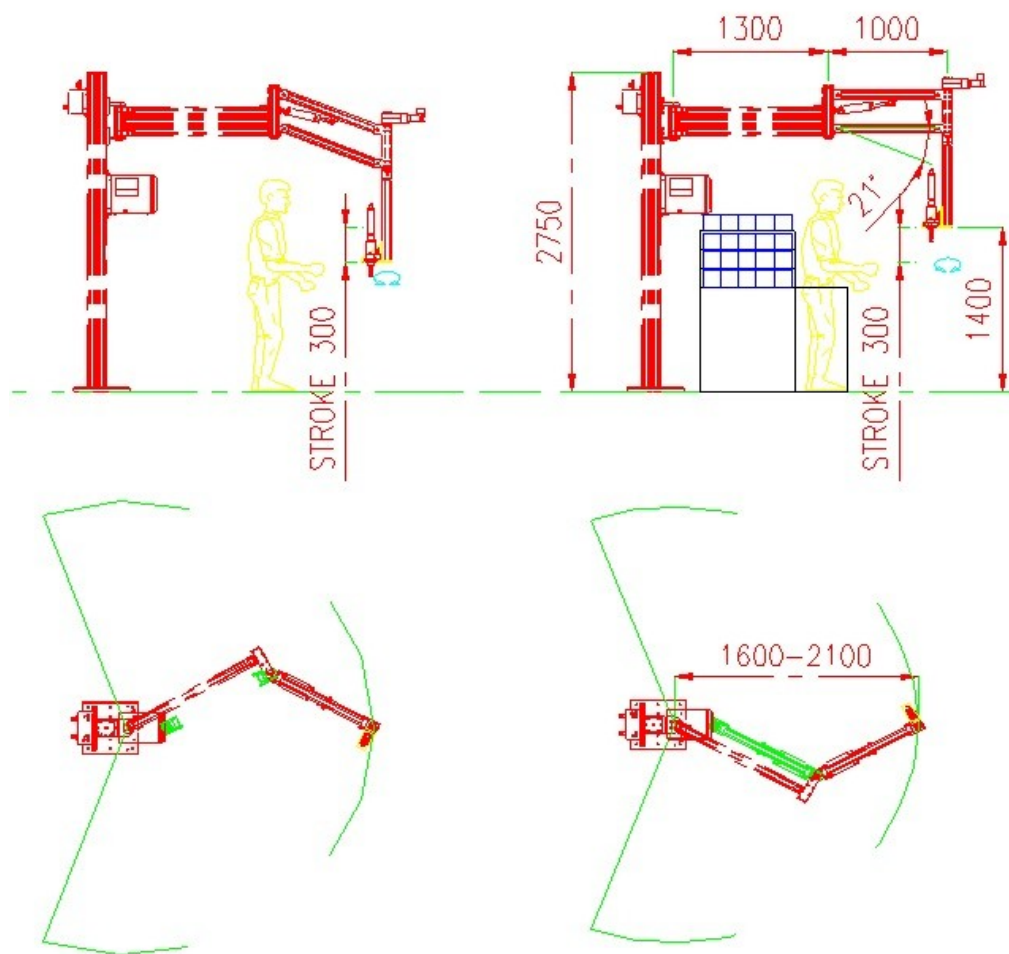


Figura 110: Planos brazos articulados

5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

a. Lay Out 2D

A partir de los elementos que compondrán el puesto se dibuja el lay-out en 2D de fábrica (Figura 111) para ver tanto al alcance e interferencias, como ergonomía / productividad y, por supuesto, las posibles adecuaciones que se necesiten realizar en el puesto. Se tienen en cuenta trayectorias de polipastos, de brazos de reacción, carros, lugares de ubicación de material, etc.

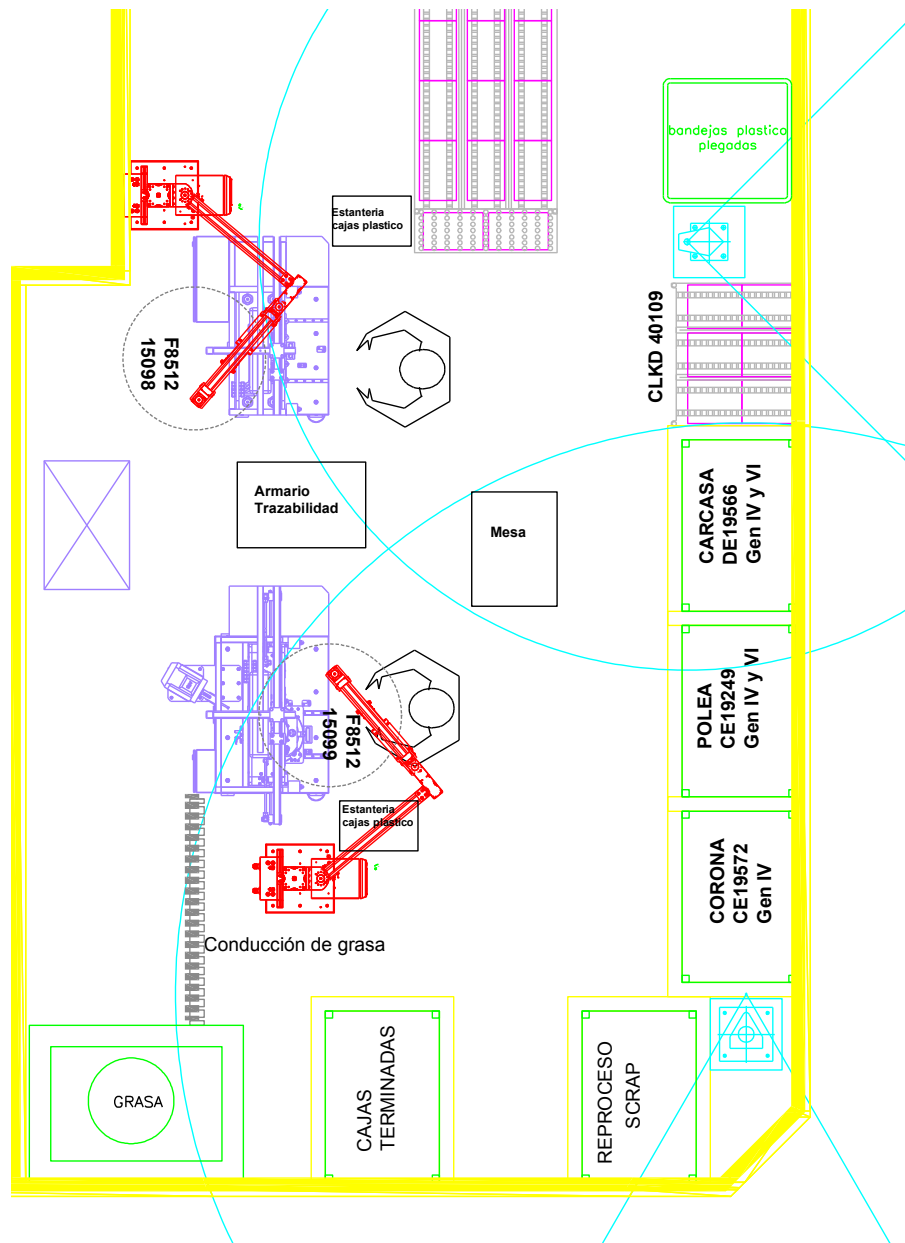


Figura 111: Lay-out 2D Knife Drive Generación IV

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

b. Lay-Out 3D

Una vez que los elementos 2D están claros y no se interfiere con nada, se dibuja un 3D del puesto (Figura 112), esta vez para posibles interferencias en altura con polipastos, canalizaciones de neumática y otros elementos elevados.

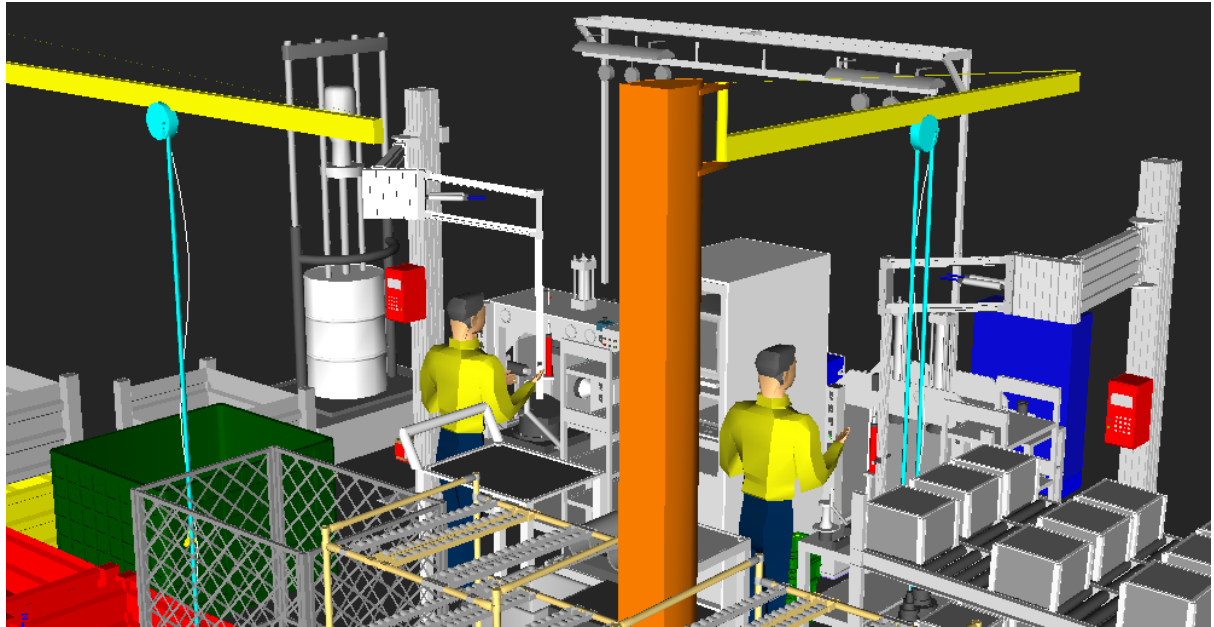


Figura 112: Lay-out 3D Knife Drive Generación IV

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

5.3.2. Herramientas

Las herramientas, como se ha comentado antes, serán husillos eléctricos. Su precisión en el control del par y su compleja programación hacen de esta tecnología la mejor elección.

Se escogen dos herramientas de distinto rango, teniendo en cuenta que en el primer puesto (Figura 113) los aprietes van de 45 a 150 N·m (38,25 a 172 N·m contando con los valores de tolerancia) y en el segundo puesto (Figura 114) de 150 a 340 N·m (127,5 a 391 N·m).

Las tolerancias han de tenerse en cuenta a la hora de elegir la herramienta, ya que forman parte del plano y de los valores de apriete.

Para el primer puesto el elegido es el husillo EM-3-18J (30-180 N·m)



PIC REF	MODEL	PART NUMBER	SQUARE DRIVE	TORQUE RANGE		ROTATIONAL SPEED	TELESCOPIC		MIN. CENTRE DISTANCE		LENGTH		WEIGHT	
				in.	Nm		mm	in.	mm	in.	mm	in.	kg	lb.
C	EM 3-18J	615 165 430 0	3/4		30-180	22.1-133	507	50	1.97	60.2	2.4	431	16.9	4.8 10.6

Figura 113: Herramienta elegida para el primer puesto

Para el segundo puesto se elige el husillo EM-12-45J (120-450 N·m)



PIC REF	MODEL	PART NUMBER	SQUARE DRIVE	TORQUE RANGE		ROTATIONAL SPEED	TELESCOPIC		MIN. CENTRE DISTANCE		LENGTH		WEIGHT	
				in.	Nm		mm	in.	mm	in.	mm	in.	kg	lb.
D	EM 12-45J	615 165 433 0	3/4		120-450	88-331	195	60	2.36	80.2	3.2	494	19.5	9.8 21.6

Figura 114: Herramienta elegida para el segundo puesto

Para el control del par y el almacenamiento de los aprietes se eligen dos controladores CVI II, uno para cada herramienta, ya que al estar separadas cierta distancia, si eligiéramos un TWIN CVI II no sería correcta la lectura por parte de alguno de los operarios de los puestos de apriete.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

5.4. Programación preliminar

Programación: Hay que tener en cuenta que la programación preliminar se realiza de todos los aprietes al mismo tiempo. Los datos pre-programados son fruto de la experiencia y del “know how” del experto en aprietes y encargado de los medios de apriete de fábrica Carlos Hernanz, y del autor del presente proyecto, poniendo en práctica todo lo aprendido durante las becas de aprendizaje y de proyecto respectivamente. Además, y dándole un gran valor añadido, se ha contado con la ayuda y colaboración del programador del fabricante, respondiendo a todas las dudas acerca del programa y de sus resultados.

El programa del fabricante de los husillos se llama CVIPC2000. Es una interfaz clara y de uso bastante intuitivo en la que se puede controlar y programar todos los aspectos posibles de cualquier apriete utilizando controladores CVI II. Dentro siempre de las limitaciones que se han visto anteriormente.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

5.5. Descripción de la unión y programación

5.5.1. Apriete 1: Colocación corona interior

El apriete de la corona se hace a 45 N·m, con una tolerancia, tanto superior como inferior, del 15%. Esto supone poder apretar 7 N·m por encima y por debajo del valor nominal.

La carcasa es de fundición gris y la corona interior es de acero F-1522.

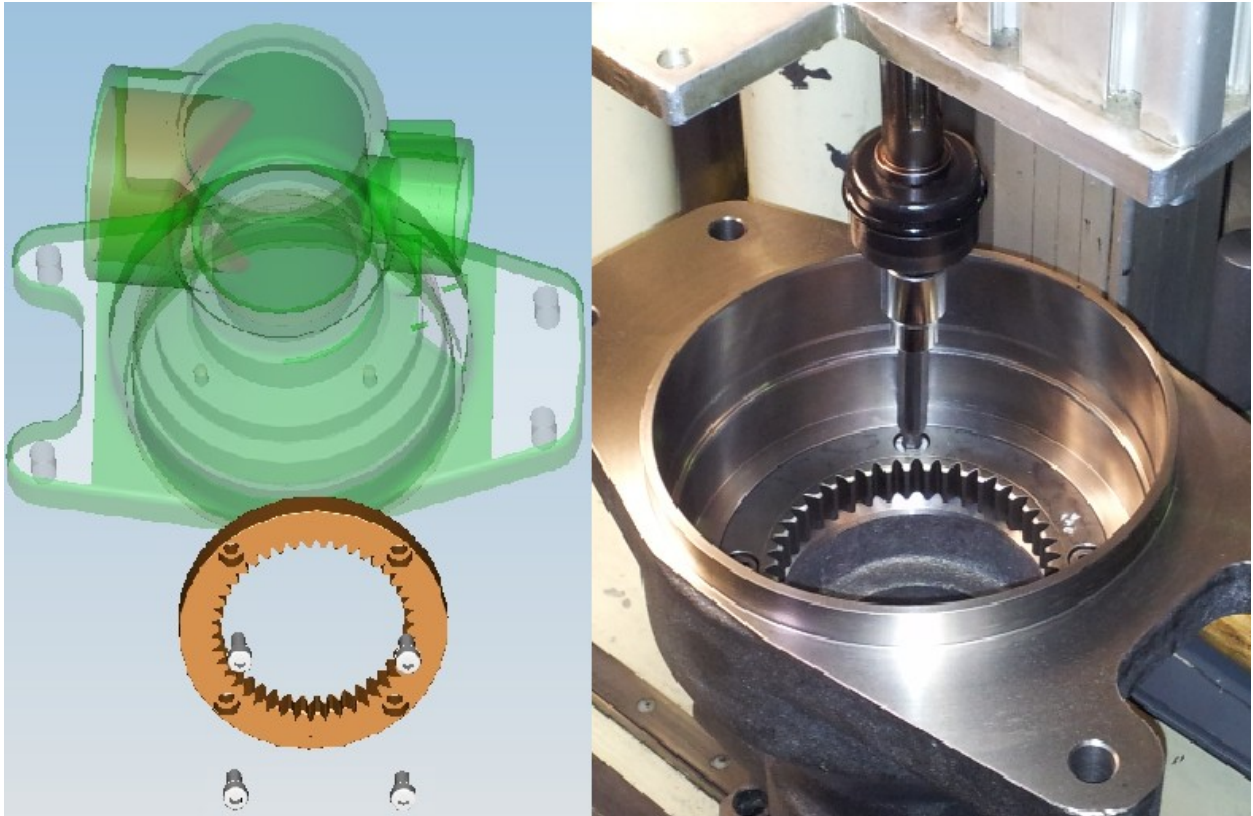


Figura 115: Apriete 1 – Corona interior

Se utilizarán tornillos CE18661 (figura 116), a los que se añadirá Loctite 272 en la rosca para un mejor sellado de los elementos.



Figura 116: Tornillo CE18661

Dados todos los elementos de la unión y sus características, es posible establecer que se trata de una junta dura (o rígida). Aunque la inclusión del Loctite haga que la dureza no sea excesiva y por tanto se pueda englobar dentro de las semi-blandas.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Atendiendo a esto, se hace la siguiente programación preliminar:

La primera etapa (Figura 117) consiste en un pre-apriete a velocidad media-alta hasta que el transductor de la herramienta vea que se han alcanzado 5 N·m (un valor pequeño para el que se puede determinar que se ha aproximado el tornillo).

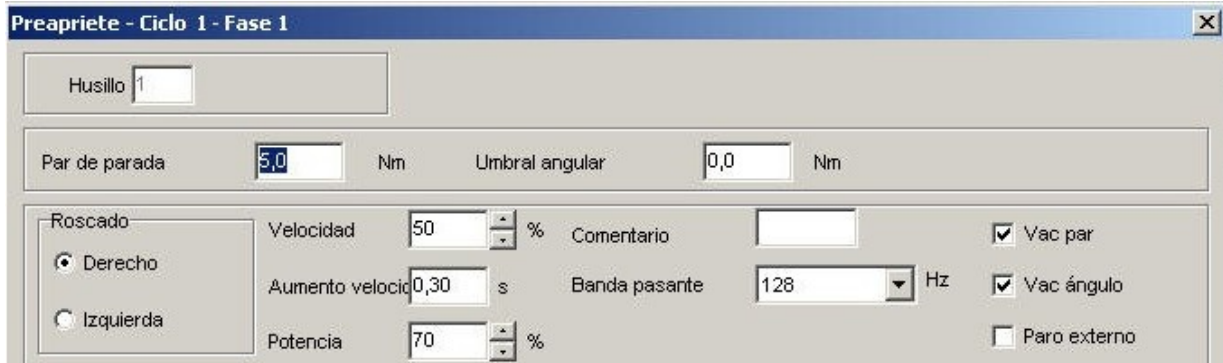


Figura 117: Pre apriete inicial

En la segunda etapa (Figura 118), la cual consistiría en el ciclo final de apriete, es necesario especificar el valor de par con su tolerancia correspondiente. También se ha elegido programar protección por límite de ángulo. De momento se trata de un valor de ángulo un tanto elevado, pero después de un estudio de junta (el cuál se verá más adelante) se afinará y se dará un rango mucho más restrictivo.

Es necesario, como muestran los tics inferiores, habilitar el vaciado del par y del ángulo de la memoria del transductor, ya que en caso contrario se acumularían los valores de las mediciones anteriores.

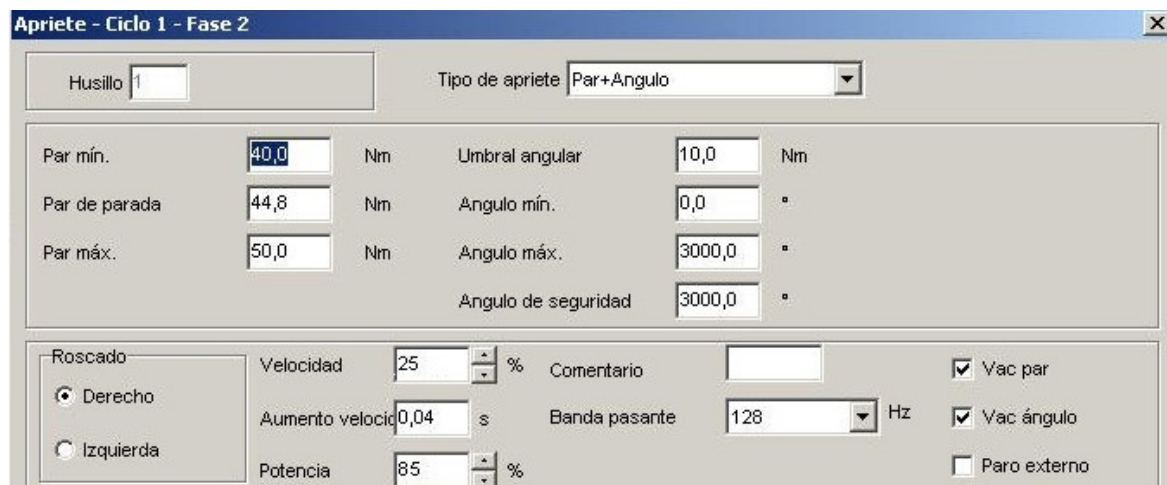


Figura 118: Apriete inicial

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Como se puede observar, la velocidad del husillo se reduce a la mitad que en la fase de pre apriete. Esto permite que el tornillo sea apretado de forma más o menos suave. Sin embargo, nótese que la potencia del husillo se ha aumentado. La razón es que para que el apriete se lleve a cabo de forma eficiente el husillo tiene que estar entregando gran parte de su potencia. Obviamente un husillo no debería estar trabajando a más de un 85-90% ya que aunque el fabricante asegura su buen funcionamiento, también recomienda no trabajar en el límite.

Tras unas primeras pruebas se pueden tener en cuenta dos cosas:

Primero: que el pre apriete es un poco lento, por lo que se aumenta la velocidad. El par de parada disminuye para un mejor control del apriete final (Figura 119).

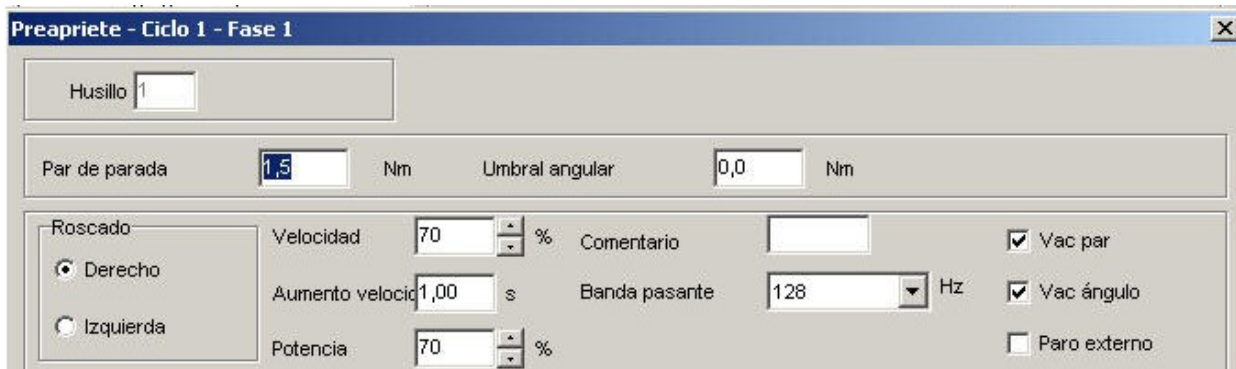


Figura 119: Pre apriete, 1ª modificación

Segundo: que la velocidad en el apriete era elevada y el apriete se hacía de forma muy brusca debido a que se trata, como se ha visto, de una junta dura. La solución elegida es bajar tanto velocidad como potencia (Figura 120).

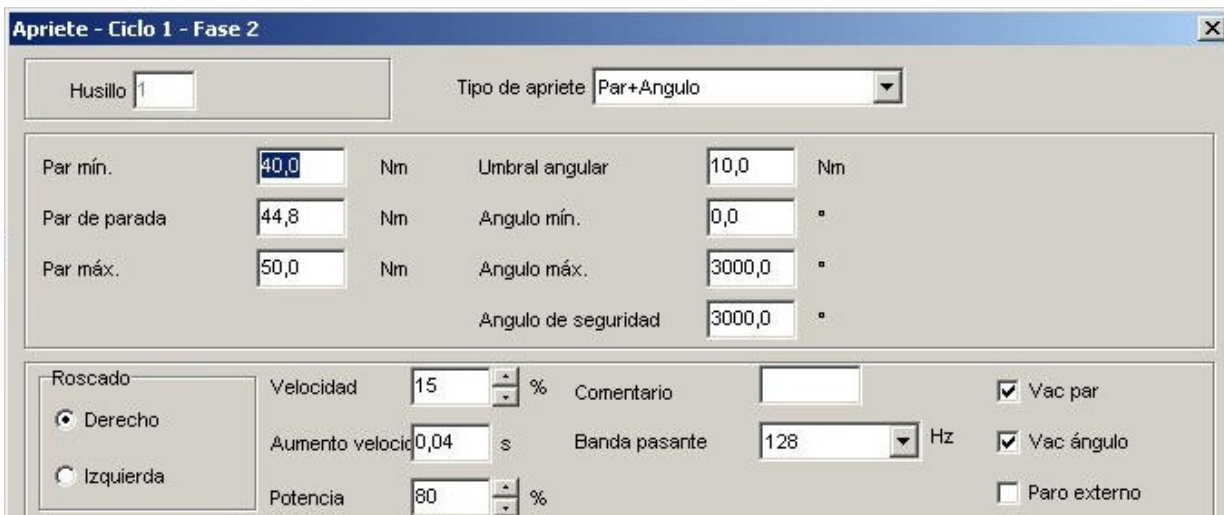


Figura 120: Apriete, 1ª modificación

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Es posible obtener la gráfica del apriete completo (Figura 121), identificando claramente las etapas de pre apriete y apriete final:

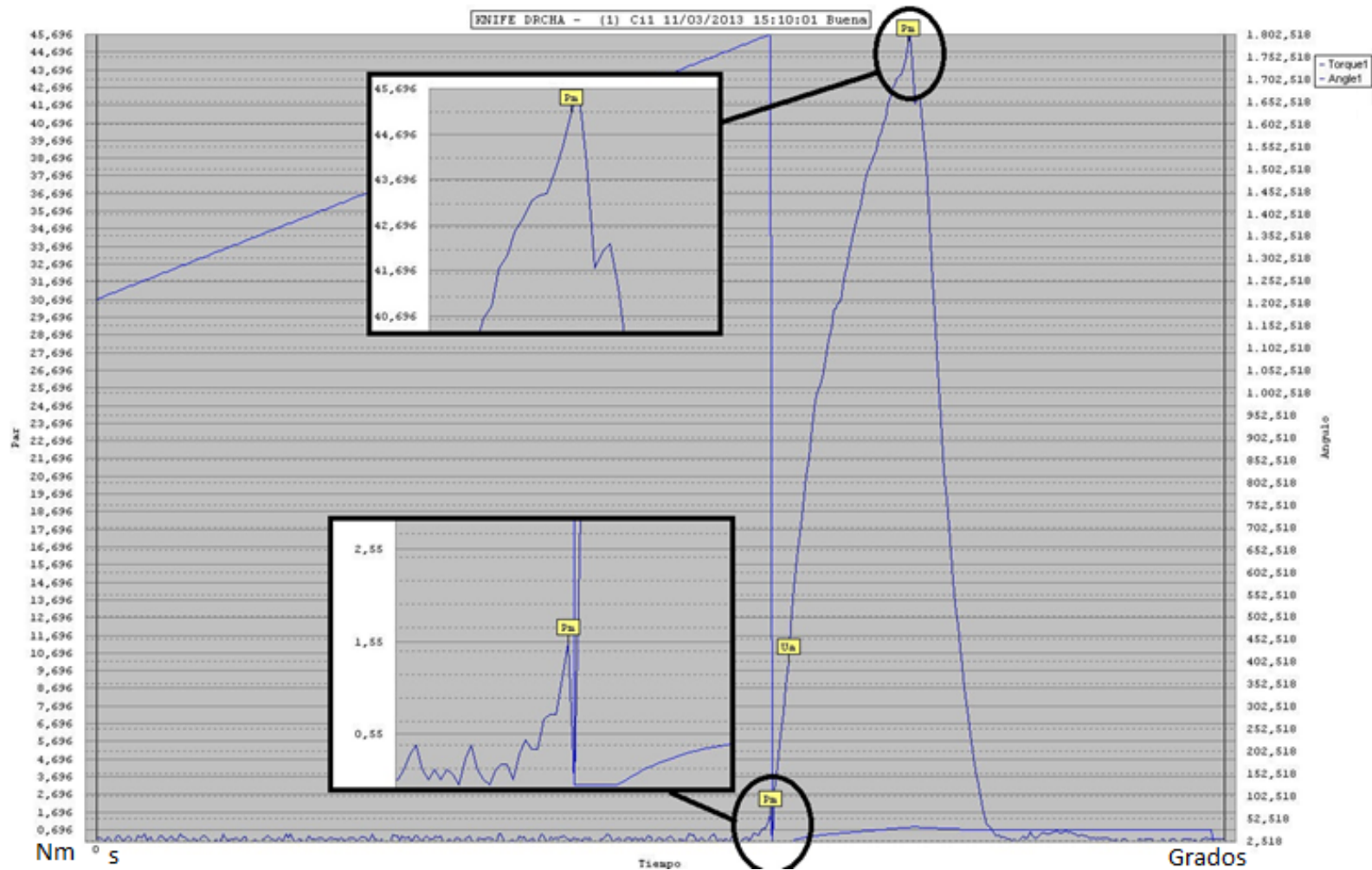


Figura 121: Gráfica apriete corona interior

La gráfica muestra el valor de par y de ángulo durante toda la fase de apriete. En primer lugar se puede ver la fase de pre apriete. El par de parada establecido en 1,5 N·m y la posterior bajada de par muestra claramente la relajación de la junta. Ésta acción forma parte de la programación y da clara cuenta del nivel de tecnología y precisión que acompaña a éste tipo de herramientas

Asociado a la finalización de la fase de pre apriete está la puesta a cero del valor de ángulo, para que al comenzar la fase de apriete, éste empiece a contar desde cero. Comienza así la fase de apriete, terminando directamente con el par de apriete programado.

Se puede observar que, desde el comienzo del apriete hasta la fase de pre apriete, la gráfica de par muestra unos altibajos. Esto es debido al par de rozamiento del tornillo durante su aproximación.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

La siguiente evolución sería establecer un rango de ángulo válido, por lo que se deja trabajando el husillo durante un tiempo para poder hacer el estudio de junta sobre una muestra de población lo suficientemente amplia como para extrapolar los datos a todos los aprietes de este tipo.

Se deja un mes trabajando y mientras tanto se van recogiendo los datos en el controlador. Se calculan algo más de 8000 aprietes del ciclo 1. Se sacan de la lista los aprietes que han dado malos por varios motivos y se grafican los datos (Figura 122).

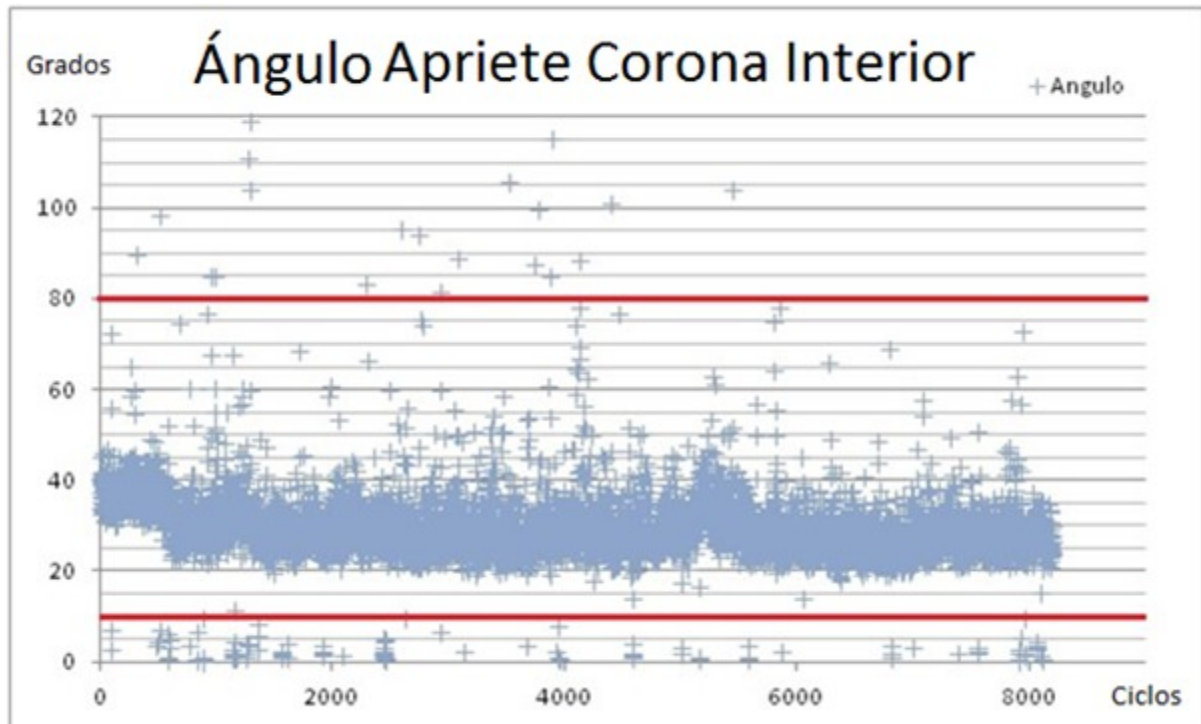


Figura 122: Gráfica datos ángulo apriete corona interior

Se puede observar que la nube de puntos se concentra entre los 20 y los 40 grados. De todas formas, el rango de ángulo elegido para la programación es de 10 a 80 grados. Es una programación un tanto conservadora, ya que la unión, debido a que la corona además de ser atornillada se prensa previamente sobre la carcasa, no tiene una criticidad elevada. Además, no se pretende con ello generar muchos “falsos” malos aprietes, ya que si reducimos el rango de ángulo, muchos de los aprietes buenos quedarían fuera y la máquina los consideraría malos.

Se programan, siguiendo este criterio, los límites de ángulo (Figura 123). El motivo de elegir un ángulo mínimo de 10 grados sirve para detectar reaprietes de tornillos ya apretados. Un tornillo reapretado no gira más allá de 4 o 5 grados, siempre dependiendo del tipo de junta que se esté analizando.

5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

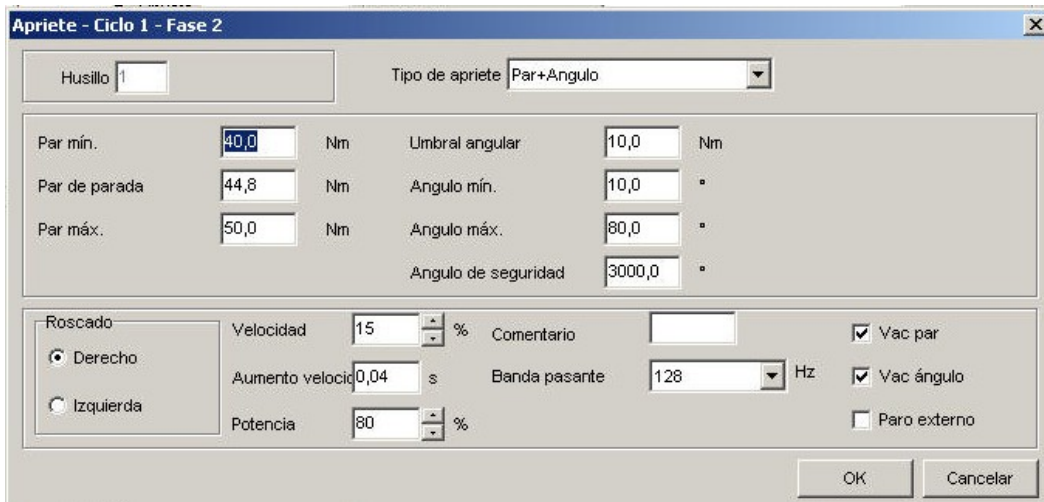


Figura 123: Modificación ángulo

Se comprueba, además, en el controlador, y como medida de seguridad, que los valores de ángulo han sido programados correctamente (Figura 124).

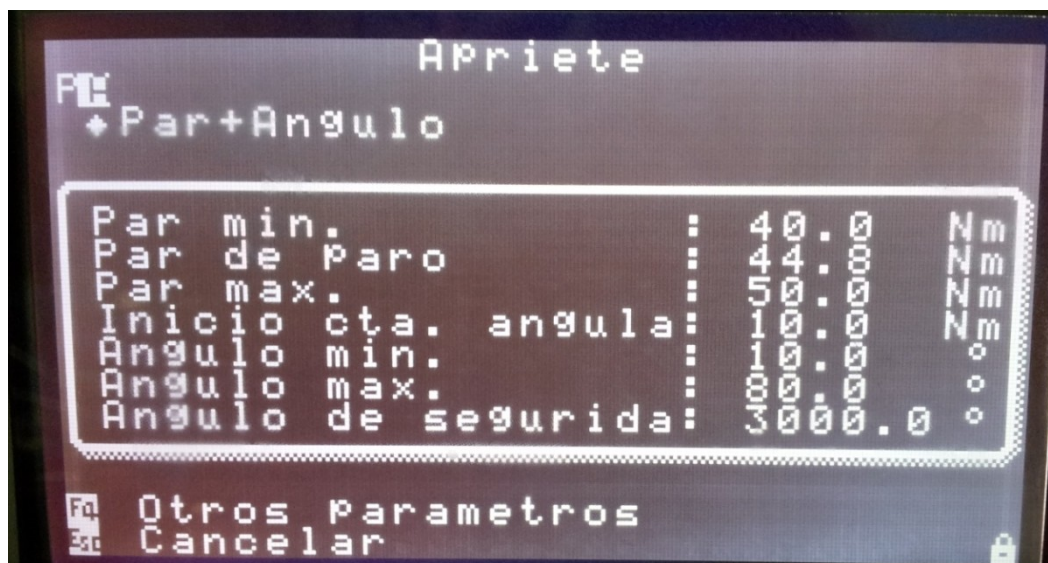


Figura 124: Comprobación programación en controlador

El límite superior de ángulo es menos importante, aunque sirve para identificar tornillos pasados o aceitados. Gracias al estudio, y al límite superior de 80 grados, es posible parar la máquina automáticamente si un tornillo ha sido aceitado (por equivocación o por accidente) ya que éste giraría más grados sin encontrar resistencia, evitando así que estire y rompa dentro del alojamiento, teniendo que reprocesar, con la pérdida de tiempo y dinero que esto conlleva.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

5.5.2. Apriete 2: Cierre tapa inferior

La tapa del eje excéntrico, de acero, se monta sobre la base del mismo eje, previa aplicación de un cordón de sellante de silicona (Terostat 9140). El motivo de aplicar sellante es que hay un camino de grasa que va por el eje piñón y a través del rodamiento, y es la única forma de retenerlo y que no fugue por la tapa.

Posteriormente se aplica Loctite 272 a los tornillos y se montan, siendo el par de apriete, contenido en el plano, de $50 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 15\%$ ($50 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 7.5 \text{ N}\cdot\text{m}$).

Como en el anterior apriete, la unión se clasificaría dentro de la categoría de uniones rígidas, salvo por el hecho de que tanto la silicona sellante, como el Loctite de los tornillos, hacen que se suavice dicha rigidez, pasando a clasificarla entonces como junta semi-blanda.

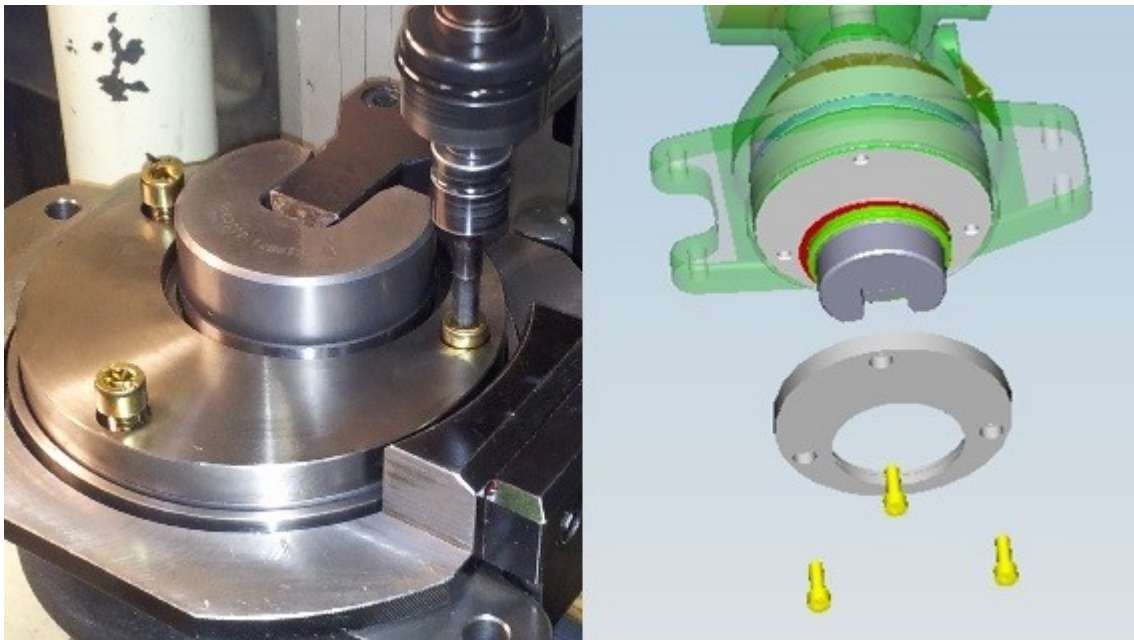


Figura 125: Apriete 2 – Tapa eje excéntrico

Se utilizarán tornillos 19M9419 (Figura 126), a los que se añadirá Loctite 272 en la rosca para un mejor sellado de los elementos.



Figura 126: Tornillo 19M9419

5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

La programación preliminar del pre apriete es similar a la del primer caso. Los valores son fruto de la experiencia (Figura 127).

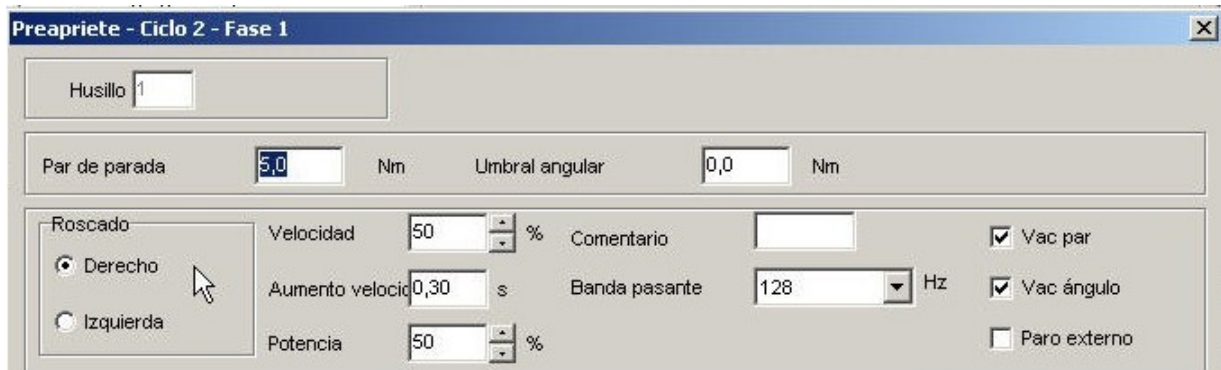


Figura 127: Pre apriete inicial

La fase de apriete se programa también de acuerdo a los mismos criterios que en el caso anterior (Figura 128).

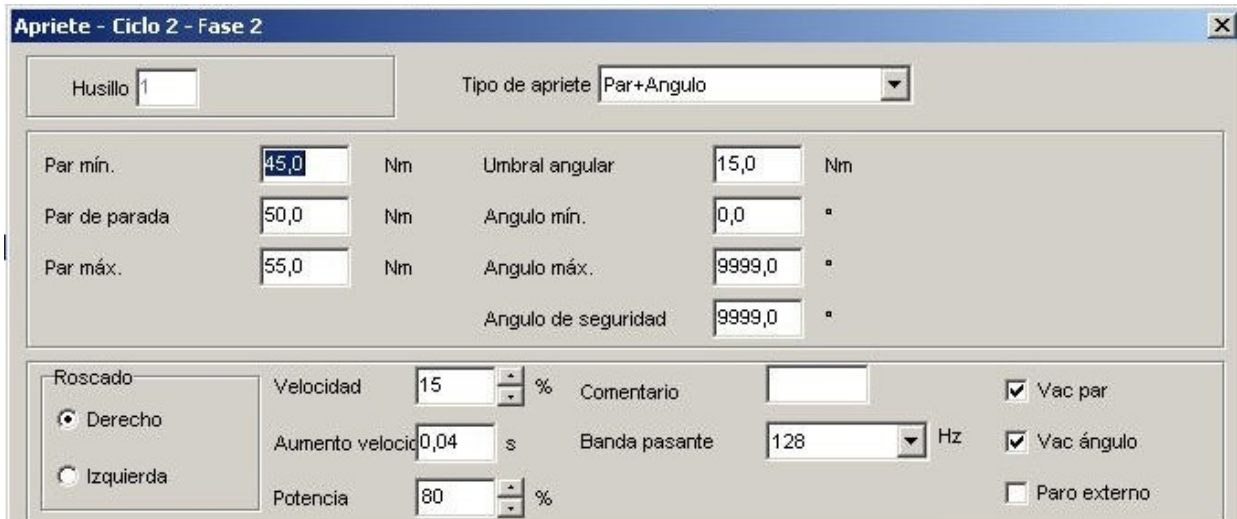


Figura 128 Apriete inicial

Se realizan aprietes durante un turno y se observa la reacción de la empaquetadura para hacer los ajustes pertinentes a la programación preliminar.

Como se podía prever, la junta no es tan rígida como en el caso anterior, por lo que se aumenta la velocidad del husillo ya que no hay impacto al apretar.

Se observa, además, que al comprobar posteriormente el par de apriete, hay tornillos que sin embargo quedan “flojos” (entendiendo “flojo” por quedar su par de apriete por debajo de la especificación inicial, y no suelto). Este fenómeno se debe a la relajación de la empaquetadura.

Para contrarrestar el efecto de la relajación se divide la fase de apriete original en dos fases, un segundo pre apriete y el apriete final (Figura 129).

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

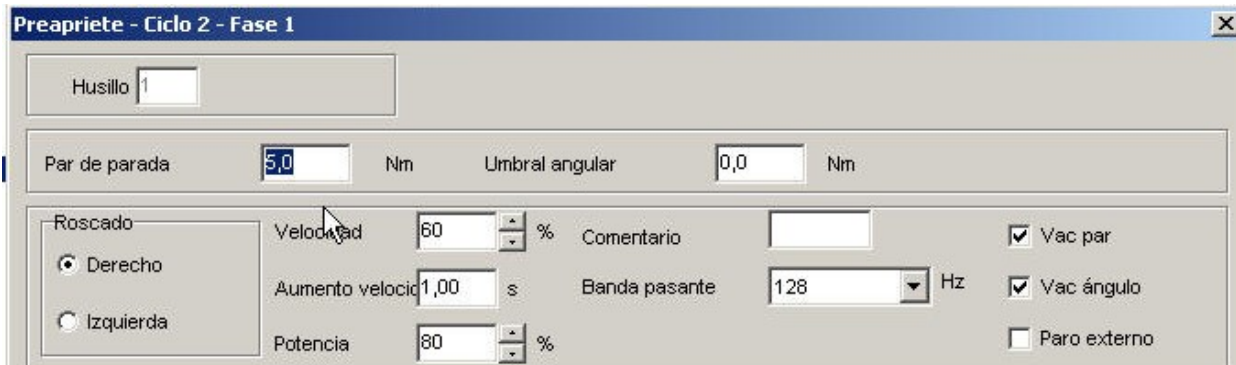


Figura 129: Pre apriete, 1ª modificación.

Se ha aumentado tanto la velocidad como la potencia del husillo para una aproximación de los tornillos más rápida.

Como se ha adelantado, la fase de apriete original se ha dividido en dos (Figuras 130 y 131):

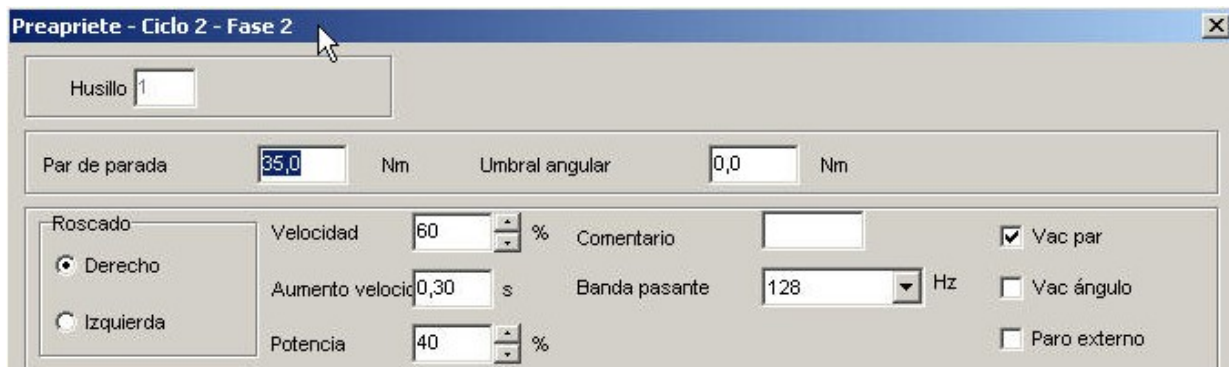


Figura 130: Pre apriete 2, 1ª modificación.

Un pre apriete a menor potencia y una velocidad igual a la de aproximación, con un par de parada de 35 N·m. Esto permite que la junta pase su etapa de relajación durante el proceso de pre apriete, y a partir de ahí comenzar con el apriete final.

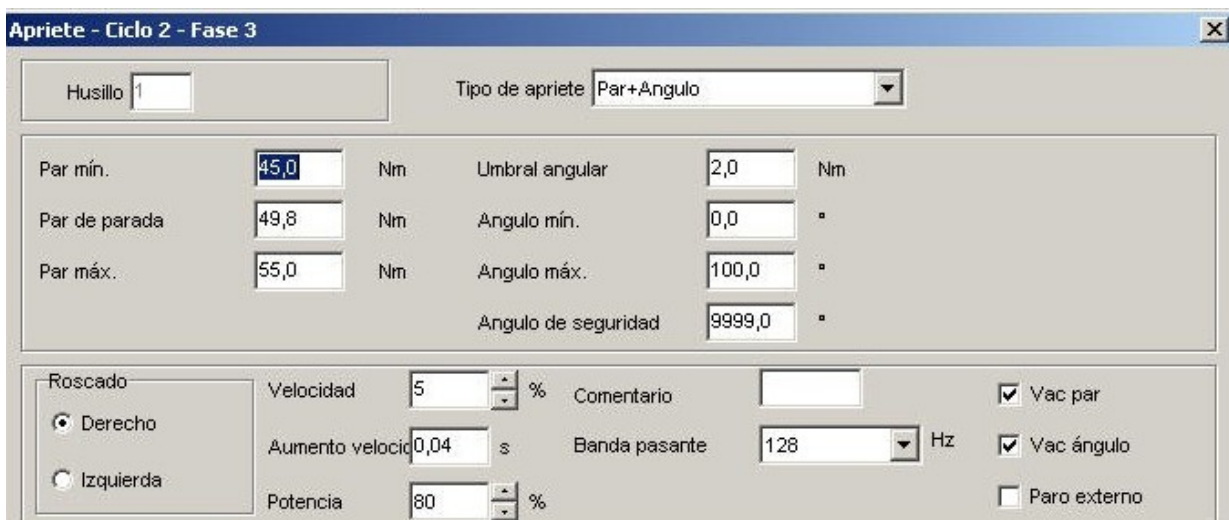


Figura 131: Apriete, 1ª modificación.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

La velocidad del husillo en el apriete final se reduce al 5% para asegurar el asentamiento de la unión con el sellante.

También el sellante es el causante de la programación del límite de ángulo superior a 100°. Es una modificación preliminar que atiende a la combinación del sellante de la tapa interior y al Loctite aplicado a los tornillos. El Loctite hace de lubricante y si la unión es un tanto blanda se corre el riesgo de que el tornillo no asiente bien y éste entre en zona plástica, estirándose.



Figura 132: Gráfica apriete tapa

En la Figura 132 se puede ver una zona cercana al par final con forma de sierra. Esto es debida a que la junta está asentándose. Es muy común en juntas en las que hay un sellante de silicona. Durante la fase de apriete el sellante se va distribuyendo a lo largo de toda la superficie de actuación.

Una junta, aunque a priori se pueda considerar como junta dura, una vez que lleva sellante líquido se convierte en una junta blanda y el comportamiento es totalmente diferente.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Para programar unos límites de ángulo razonables, se realiza también para este apriete un estudio de junta. Los valores obtenidos se pueden ver en la Figura 133:

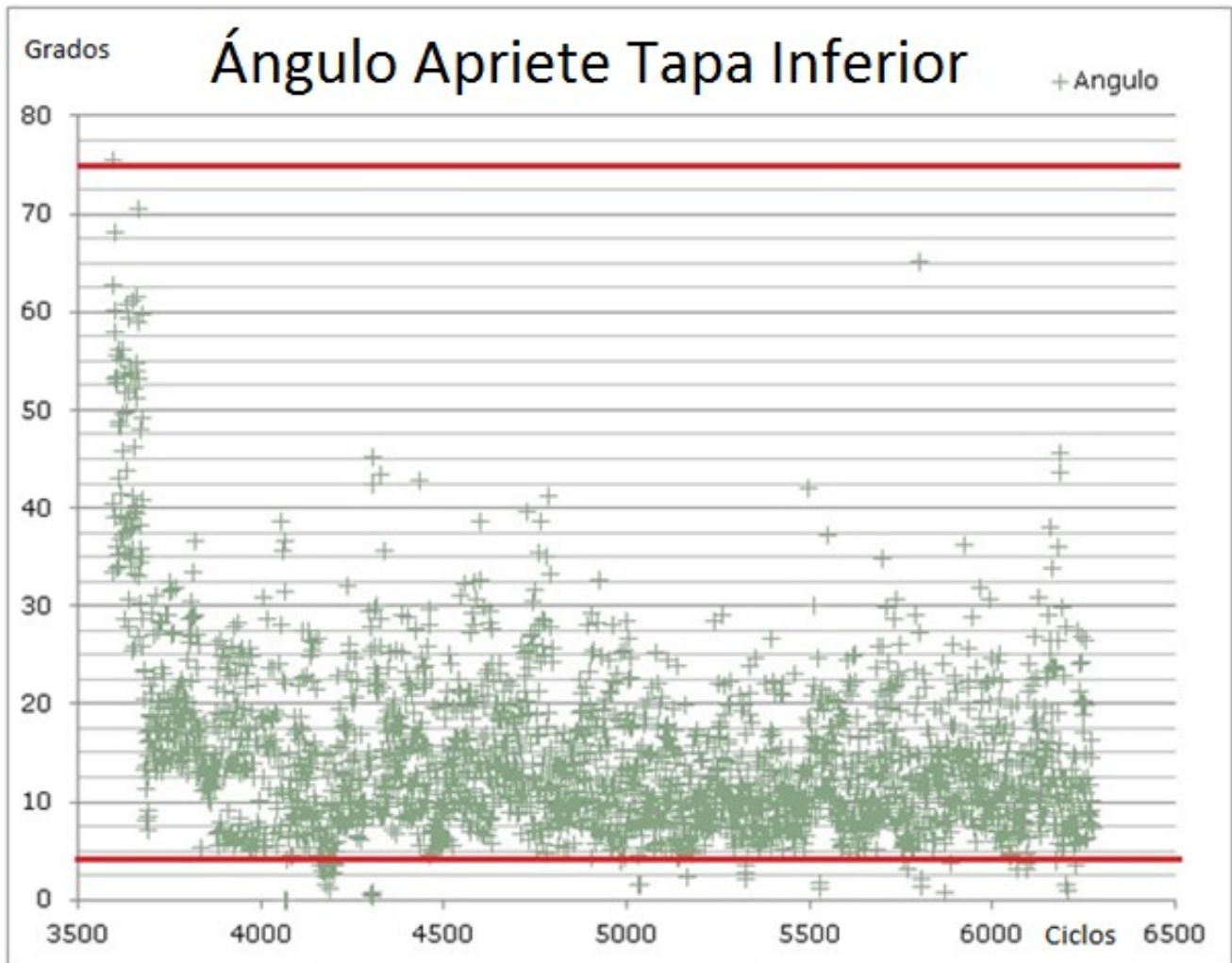


Figura 133: Gráfica de ángulos apriete tapa inferior

Los valores elegidos como límites de ángulo son de 4 y 75 grados.

Como en el caso anterior, el límite superior es un tanto conservador, ya que no es necesaria una precisión milimétrica. Sin embargo, en el caso del límite inferior se observa algo curioso. Debido al sellante de silicona y como ya se ha explicado anteriormente, uno de los tornillos queda menos apretado. La solución sería tener un programa de apriete específico para cada uno de los tres tornillos que cierran la tapa.

Esto es inviable en un puesto de fábrica en el que no siempre se aprietan los tornillos en el mismo orden. Por ello se ha elegido continuar con el mismo programa de apriete y reapretar el primer tornillo, estableciendo además un límite de ángulo inferior de 4 grados (Figura 134). En este caso, el límite inferior sirve para que el valor de giro del reapriete del primer tornillo entre dentro de rango. El resto de tornillos como ya están apretados girarán menos y los detectará como reaprietes incorrectos. Cabe la posibilidad de que algún tornillo al ser reapretado gire más de esos 4 grados y entonces lo determine como bueno, pero en estas condiciones no es conveniente arriesgarse a aumentar el ángulo límite, para que el programa identifique el 100% de los reaprietes.

5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Apriete - Ciclo 2 - Fase 3

Husillo: 1 Tipo de apriete: Par+Angulo

Par mín.	45,0	Nm	Umbral angular	2,0	Nm
Par de parada	49,8	Nm	Angulo mín.	4,0	°
Par máx.	55,0	Nm	Angulo máx.	75,0	°
			Angulo de seguridad	9999,0	°

Roscado: ☒ Derecho ☐ Izquierda

Velocidad: 5 % Aumento velocidad: 0,04 s Potencia: 100 %

Comentario: Banda pasante: 128 Hz

☒ Vac par ☒ Vac ángulo ☐ Paro externo

Figura 134: Modificación ángulo

Es muy interesante comparar las gráficas obtenidas a través del controlador y del ordenador respectivamente (Figura 135).

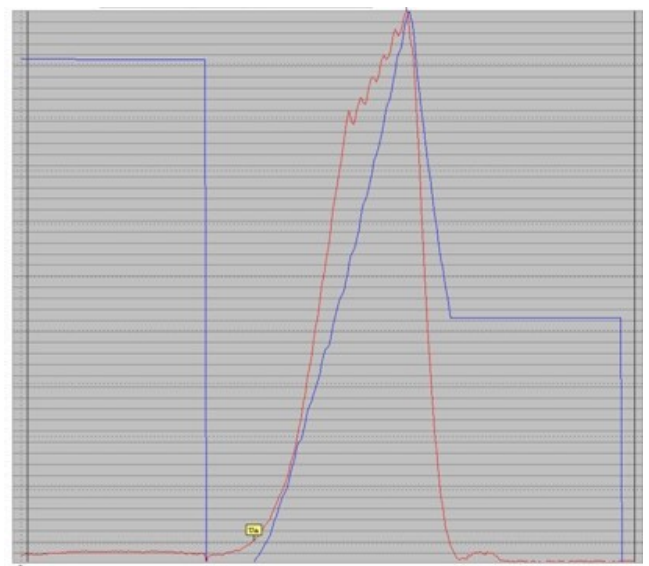
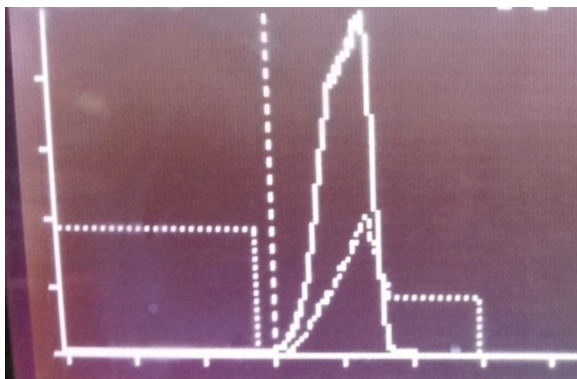


Figura 135: Gráficas controlador y ordenador respectivamente

Obviamente, la gráfica del controlador es muy simple y rudimentaria, aunque permite navegar por la gráfica obteniendo los valores punto a punto, igual que en el caso del ordenador.

Para una primera estimación es muy esclarecedora y permite detectar las fases del apriete para ver si su programación es correcta o identificar el error en los aprietes considerados malos.

Sin embargo, para un estudio más en detalle es conveniente utilizar el ordenador, donde poder ampliar la gráfica y así visualizar e identificar de forma más certera los puntos.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

5.5.3. Apriete 3: Tuerca eje rotor

El eje rotor, de fundición nodular, lleva alojado en su parte alta el engranaje que transmite el movimiento hacia dicho eje rotor proveniente del eje de entrada (Figura 136). El par de apriete de la tuerca es $150 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 15\%$ ($150 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 22 \text{ N}\cdot\text{m}$). En este caso, la dificultad radica en que hay que dar un par de apriete elevado a una tuerca almenada con anillo de seguridad de nylon. Podemos intuir que la junta se va a comportar como una junta rígida. Sin embargo, a la hora de montar el engranaje (que va prensado) se da grasa en el eje. Esto hace que la rosca del eje quede impregnada de grasa, por lo que los ángulos de apriete que se obtendrán deberían ser más elevados.

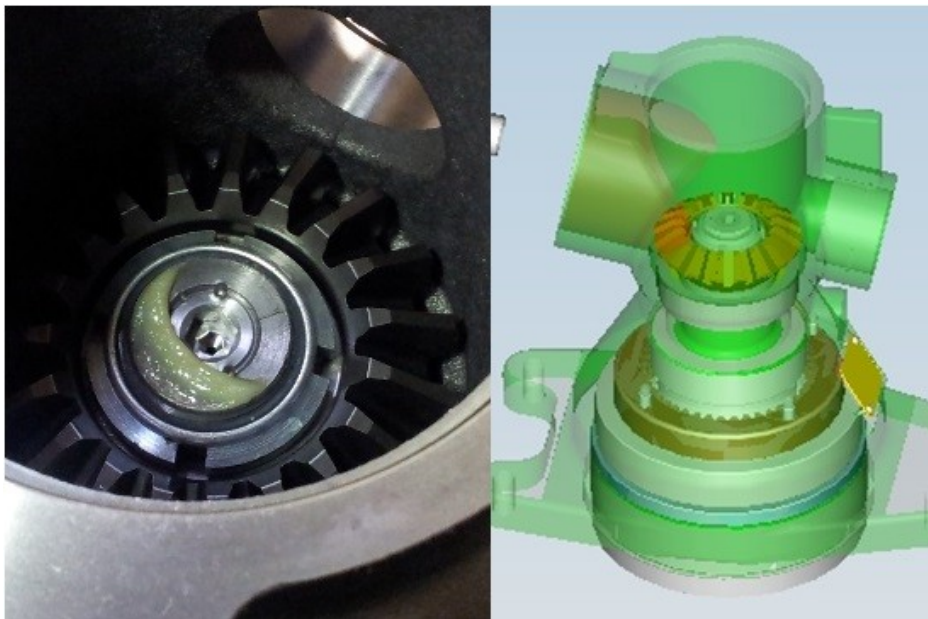


Figura 136: Apriete 3 – Tuerca eje rotor

Para apretar una tuerca almenada es necesaria una boca especial que soporte las tensiones de un apriete de esa magnitud (Figura 137).



Figura 137: Tuerca CE18663 con anillo de nylon y boca especial

5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

La programación preliminar del pre apriete (Figura 138) es similar al de las otras etapas, se elige un par de parada bajo para hacer la aproximación y a partir de ahí se establece la estrategia de apriete preliminar para alcanzar el par de forma adecuada.

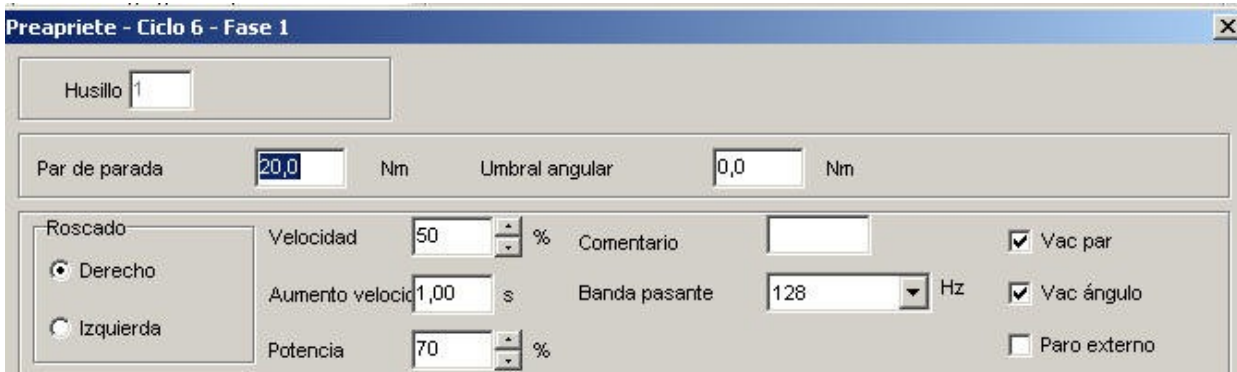


Figura 138: Pre apriete inicial.

El motivo de la programación del 100% de la potencia (Figura 139) es debido a la resistencia extra que aporta el anillo de nylon de la tuerca almenada, que sumado a la rigidez de la unión hace necesario aprovechar toda la potencia del husillo.

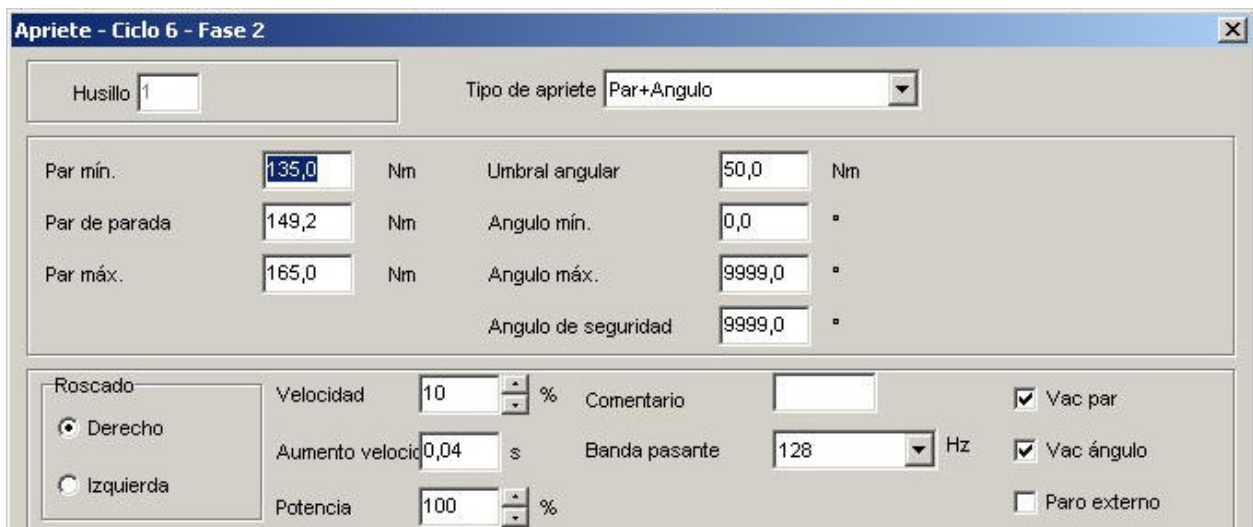


Figura 139: Apriete inicial

Como se ha apuntado anteriormente el fabricante no aconseja que las máquinas trabajen al 100%, pero en casos como éste se puede hacer una excepción sin hacer peligrar la integridad de la máquina, ya que se hacen tan solo 25 aprietes de este tipo por cada turno de trabajo.

Tras los aprietes de rigor se ha comprobado que, durante el pre apriete de aproximación, a la tuerca almenada le cuesta entrar, por lo que se hacen necesarios algunos cambios.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

La velocidad del husillo durante el pre apriete se mantiene pero se aumenta la potencia e, la tuerca almenada (Figura 140). Se disminuye así el par de parada a 10N·m para que el control del apriete posterior sea más exhaustivo.

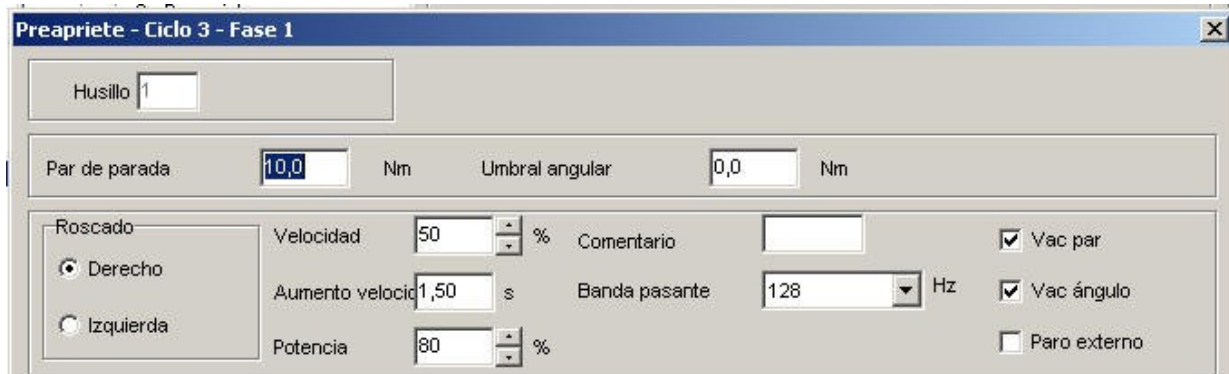


Figura 140: Pre apriete modificado

Para el apriete final (Figura 141) se mantiene una velocidad del 10% ya que en una empaquetadura de estas características no es recomendable aumentar la velocidad del husillo ya que la fricción puede perjudicar al anillo de nylon de la tuerca. Si la velocidad es muy alta, puede hacer que el nylon se funda y pueda trasroscarse la tuerca.

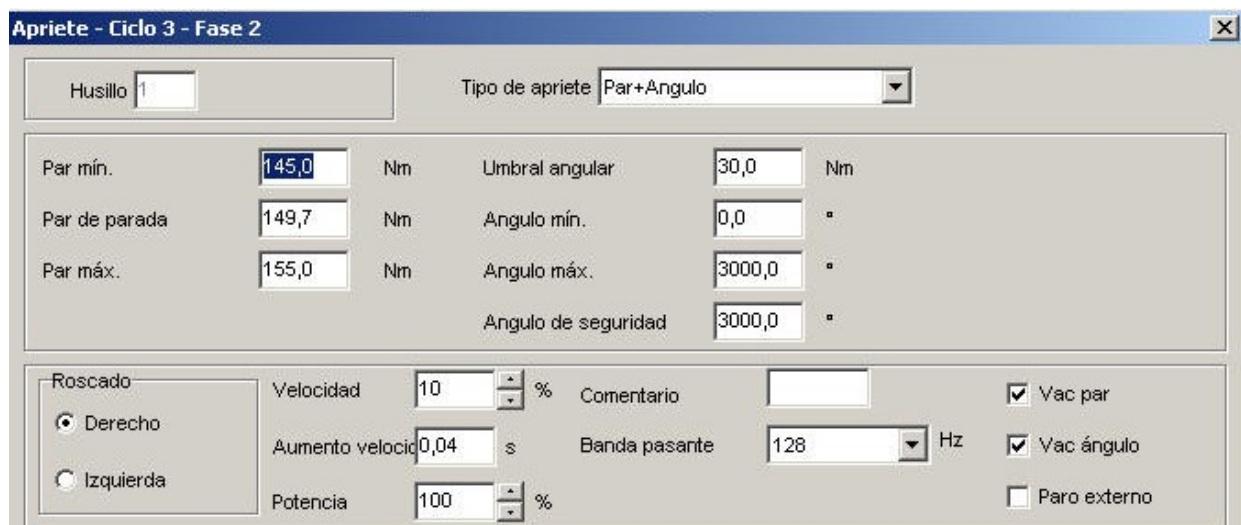


Figura 141: Apriete modificado

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

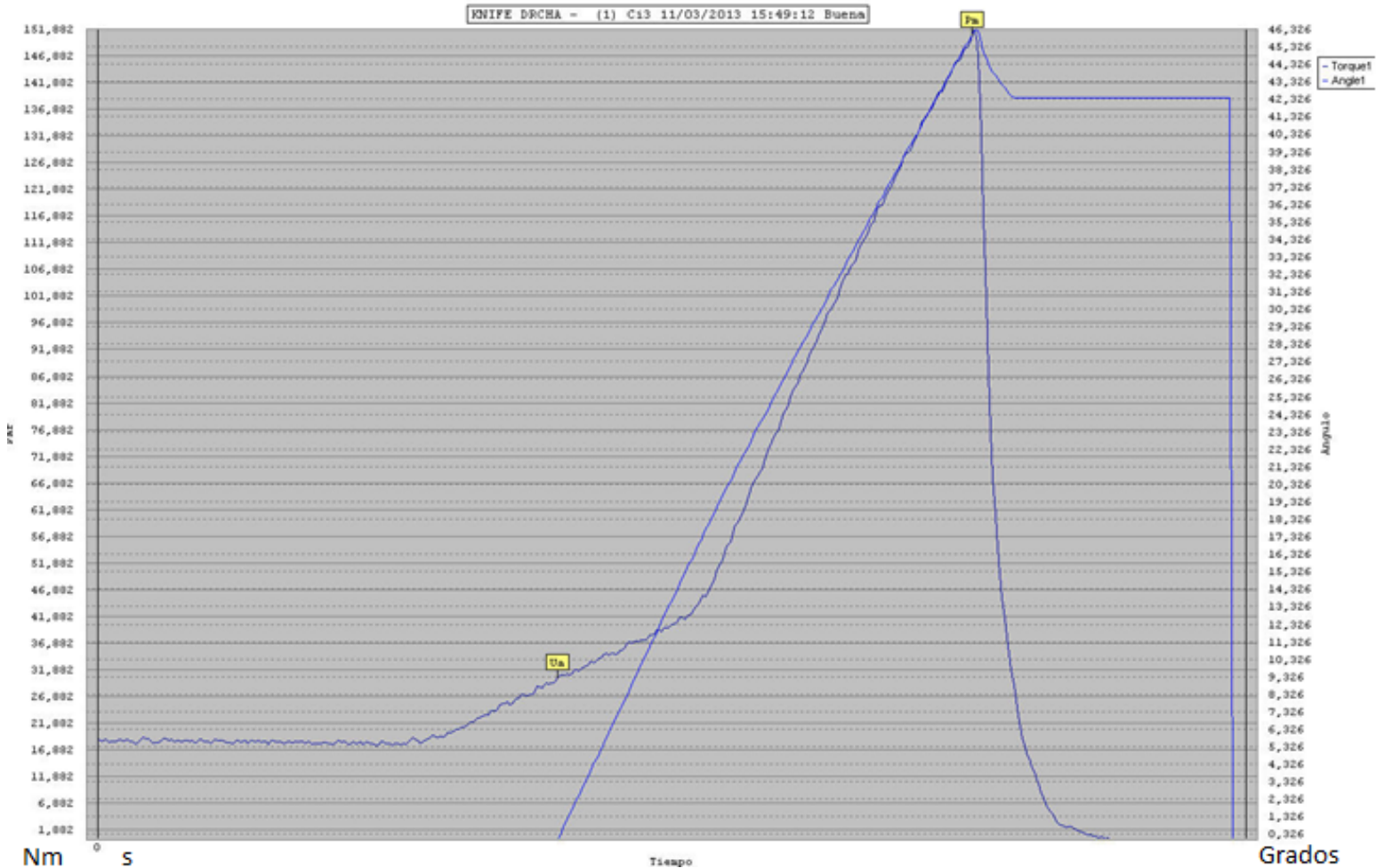


Figura 142: Gráfica Apriete tuerca eje rotor

Se pueden observar las fases del apriete en el gráfico de la Figura 142. Se comienza con la aproximación, el par de rozamiento se mantiene estable hasta que se llega al asentamiento de la tuerca (la primera pendiente). Cuando se entra en la segunda pendiente, el par de apriete aumenta mucho en poco tiempo. Esto se debe al efecto de la tuerca auto-frenante.

Tras comprobar que la programación del par queda hecha, se pasa entonces a hacer el estudio de junta para establecer la protección de ángulo. Para ello los datos tomados se analizan y se busca el rango adecuado (Figura 143).

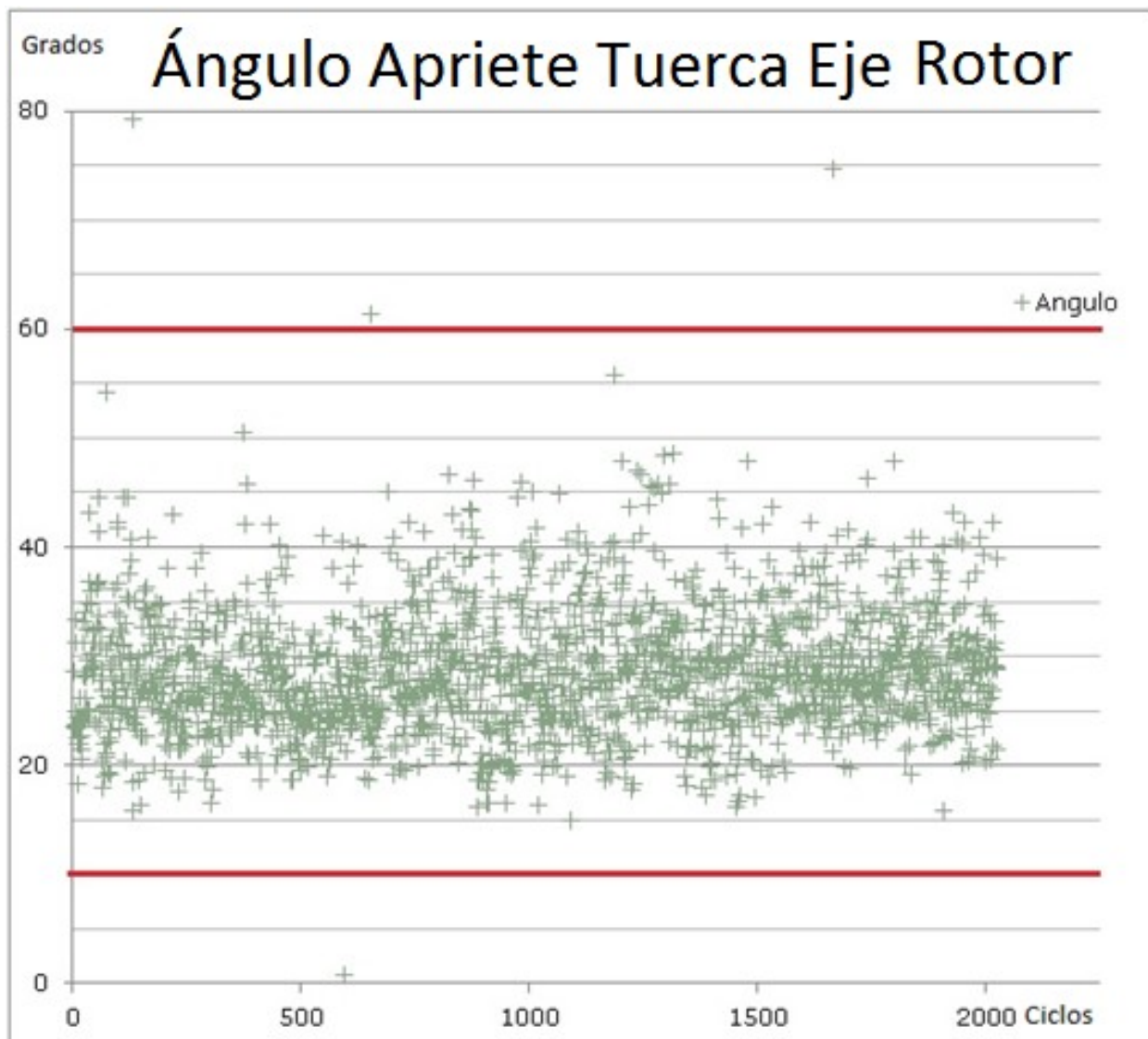


Figura 143: Gráfica de ángulos Apriete tuerca eje rotor

El ángulo elegido para este apriete es continuista con los anteriores (Figura 144).

El límite superior de ángulo se establece en 60°, ya que siendo una junta dura es razonable que el ángulo no sea muy elevado.

Para el límite inferior se programan 10°. Es un valor un tanto alto, pero así se protegen los reaprietes. Cuando el apriete es de un único elemento, como es el caso, no es común que haya reapriete, por lo que el límite inferior de ángulo no sirve como Poka Yoke de olvido (para eso está el secuenciado del programa de apriete). Sin embargo, puede servir de ayuda a identificar una tuerca trasroscada, defectos en el mecanizado de la rosca, etc...

Apriete - Ciclo 3 - Fase 2

Husillo: Tipo de apriete:

Par mín.	<input type="text" value="145,0"/>	Nm	Umbral angular	<input type="text" value="30,0"/>	Nm
Par de parada	<input type="text" value="149,7"/>	Nm	Angulo mín.	<input type="text" value="10,0"/>	°
Par máx.	<input type="text" value="155,0"/>	Nm	Angulo máx.	<input type="text" value="60,0"/>	°
			Angulo de seguridad	<input type="text" value="3000,0"/>	°

Roscado: ☒ Derecho ☐ Izquierda

Velocidad: % Aumento velocidad: s Potencia: %

Comentario: Banda pasante: Hz

☒ Vac par ☒ Vac ángulo ☐ Paro externo

Figura 144: Programación límites de ángulo

5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

5.5.4. Apriete 4: Tuerca eje entrada

El apriete de la tuerca del eje de entrada (Figura 145) es similar en par y elementos de la unión al apriete anterior. La tuerca aprieta el eje sobre la carcasa para evitar cualquier movimiento relativo entre ellos. El proceso de programación, por tanto, será igual, aunque con alguna variación, que el apriete anterior. Dicha variación se refiere a los ángulos, que al contrario que en el apriete anterior, los deberían ser algo inferiores ya que, en este caso, no se utiliza grasa que pueda manchar el eje.

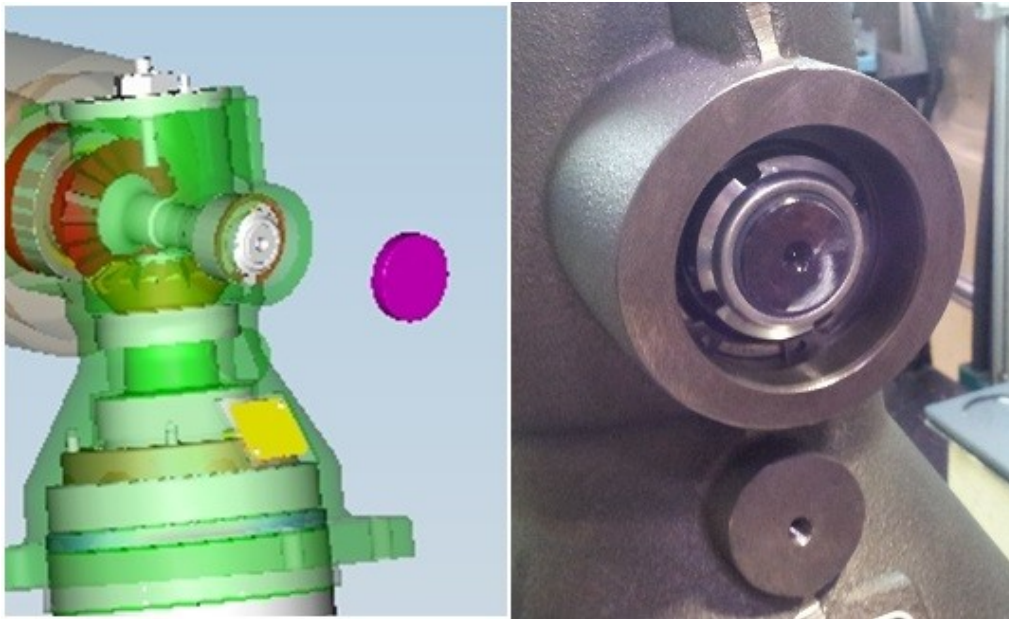


Figura 145: Apriete 4 - Tuerca eje de entrada

El par de apriete es $150 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 15\%$ ($150 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 22 \text{ N}\cdot\text{m}$), con tuerca almenada CE30210M (Figura 146). La boca será también especial para este tipo de tuercas.



Figura 146: CE30210M

Se elige un pre apriete similar al del caso anterior, ya que, aunque no son completamente iguales (M25 frente a M30), en plano tienen el mismo par de apriete (Figura 147).

Preapriete - Ciclo 1 - Fase 1

Husillo 1

Par de parada 20,0 Nm Umbral angular 0,0 Nm

Roscado

☒ Derecho ☐ Izquierda

Velocidad 50 % Aumento velocidad 1,00 s Potencia 70 %

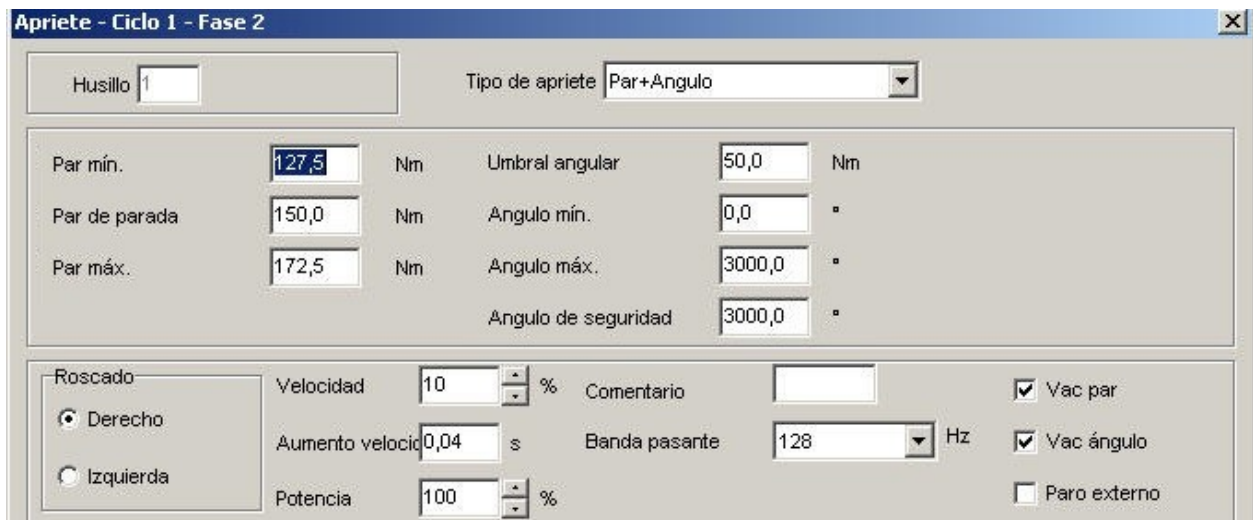
Comentario Banda pasante 128 Hz

☒ Vac par ☒ Vac ángulo ☐ Paro externo

Figura 147: Pre apriete inicial

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

El apriete preliminar también se realiza siguiendo el mismo criterio (Figura 148).



Apriete - Ciclo 1 - Fase 2

Husillo: 1 Tipo de apriete: Par+Angulo

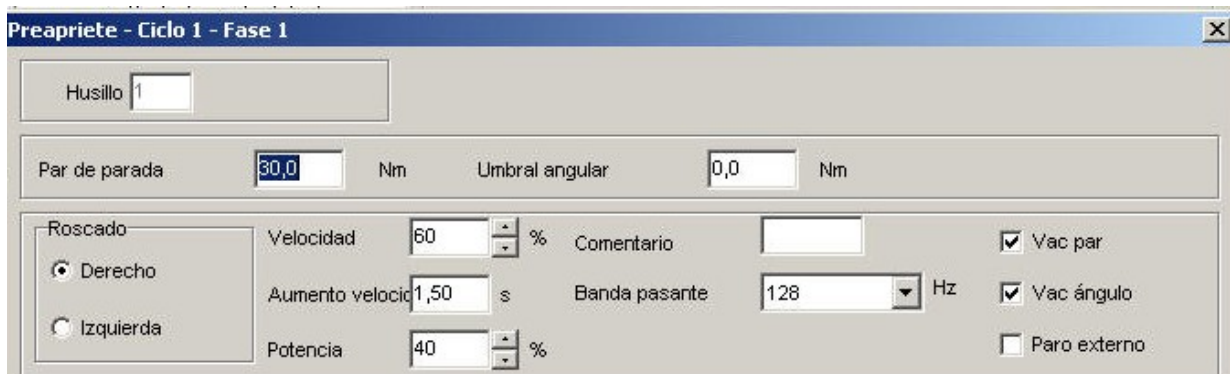
Par mín.: 127,5 Nm Umbral angular: 50,0 Nm
 Par de parada: 150,0 Nm Angulo mín.: 0,0 °
 Par máx.: 172,5 Nm Angulo máx.: 3000,0 °
 Angulo de seguridad: 3000,0 °

Roscado: ☒ Derecho ☐ Izquierda
 Velocidad: 10 % Aumento velocidad: 0,04 s Potencia: 100 %
 Comentario: Banda pasante: 128 Hz
☒ Vac par ☒ Vac ángulo ☐ Paro externo

Figura 148: Apriete inicial

Como siempre y después de unos cuantos aprietes se estudiará cómo mejorar el programa.

Se observa que la fase de pre apriete se realiza demasiado lenta, por lo que se aumenta la velocidad y se modifica el par de parada de 20 a 30 N·m (Figura 149). De esta forma el pre apriete se realizará más rápido. También se puede ver que la aproximación de la tuerca no supone ningún problema para el husillo y que las roscas tanto de la misma tuerca como del eje sobre el que se aprieta vienen bien definidas y su aproximación no supone un aumento significativo del par debido a rozamiento, por lo que se reduce la potencia del husillo.



Preapriete - Ciclo 1 - Fase 1

Husillo: 1

Par de parada: 30,0 Nm Umbral angular: 0,0 Nm

Roscado: ☒ Derecho ☐ Izquierda
 Velocidad: 60 % Aumento velocidad: 1,50 s Potencia: 40 %
 Comentario: Banda pasante: 128 Hz
☒ Vac par ☒ Vac ángulo ☐ Paro externo

Figura 149: Pre apriete modificado

En el apriete se ha modificado el umbral angular, para que se comience a medir ángulo a partir de 100 N·m ya que los 50 N·m que se había programado originalmente se alcanzaban muy al inicio haciendo que los ángulos fueran muy grandes (Figura 150). De cara a la programación de los límites de ángulo conviene aproximar más la medición del ángulo hacia el par final.

Todo esto es muy subjetivo y cada programador tiene una técnica diferente. Hay quien prefiere comenzar a medir ángulos muy pronto y quien sin embargo quiere hacerlo más cerca del par objetivo.

5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Apriete - Ciclo 1 - Fase 2

Husillo: Tipo de apriete:

Par mín.	<input type="text" value="127,5"/>	Nm	Umbral angular	<input type="text" value="100,0"/>	Nm
Par de parada	<input type="text" value="150,0"/>	Nm	Angulo mín.	<input type="text" value="0,0"/>	°
Par máx.	<input type="text" value="172,5"/>	Nm	Angulo máx.	<input type="text" value="3000,0"/>	°
			Angulo de seguridad	<input type="text" value="3000,0"/>	°

Roscado: ☒ Derecho ☐ Izquierda

Velocidad: % Aumento velocidad: s Potencia: %

Comentario: Banda pasante: Hz

☒ Vac par ☒ Vac ángulo ☐ Paro externo

Figura 150: Apriete modificado

En la Figura 151 se muestra la gráfica del apriete :

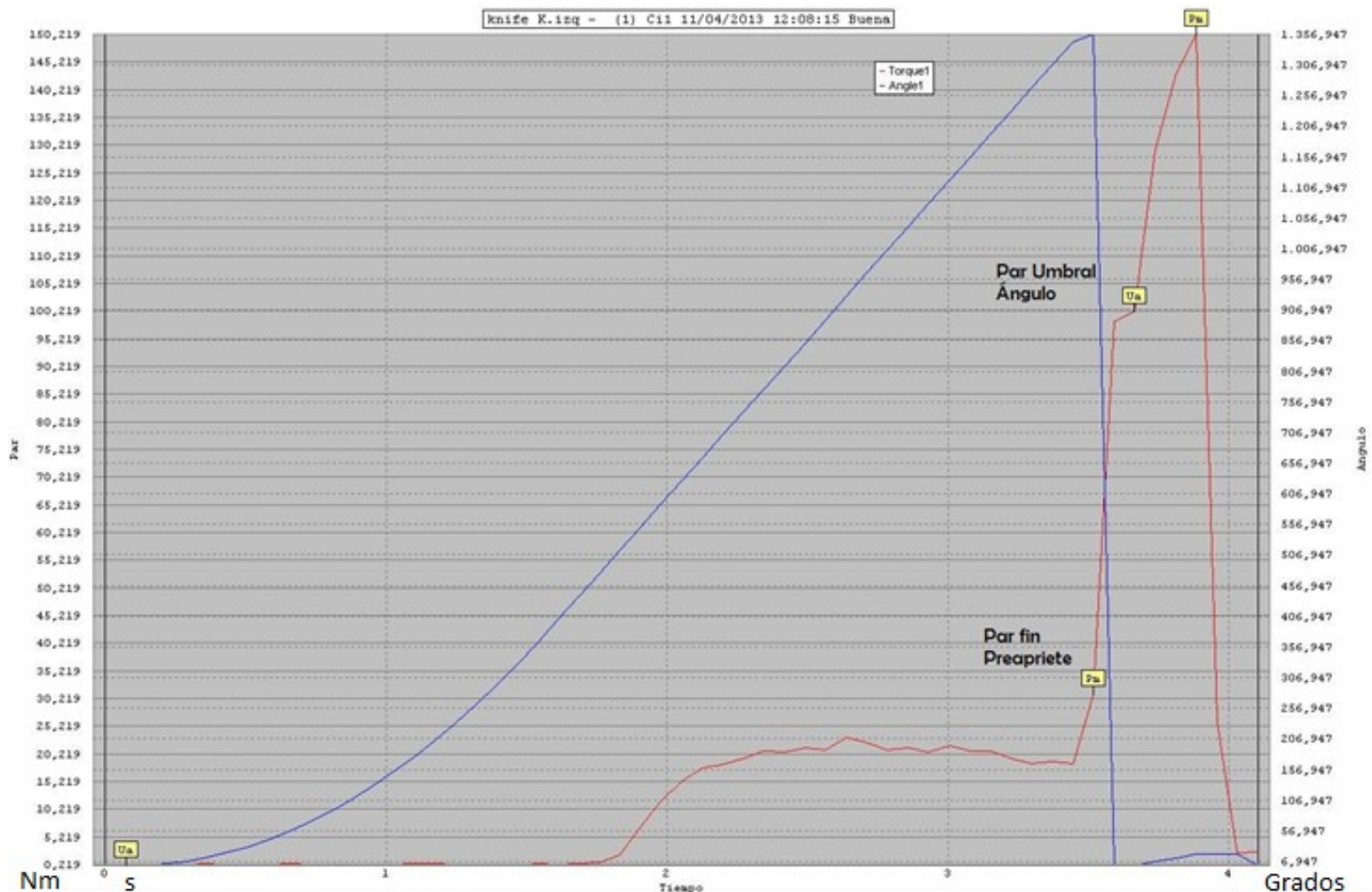


Figura 151: Gráfica Apriete tuerca eje de entrada

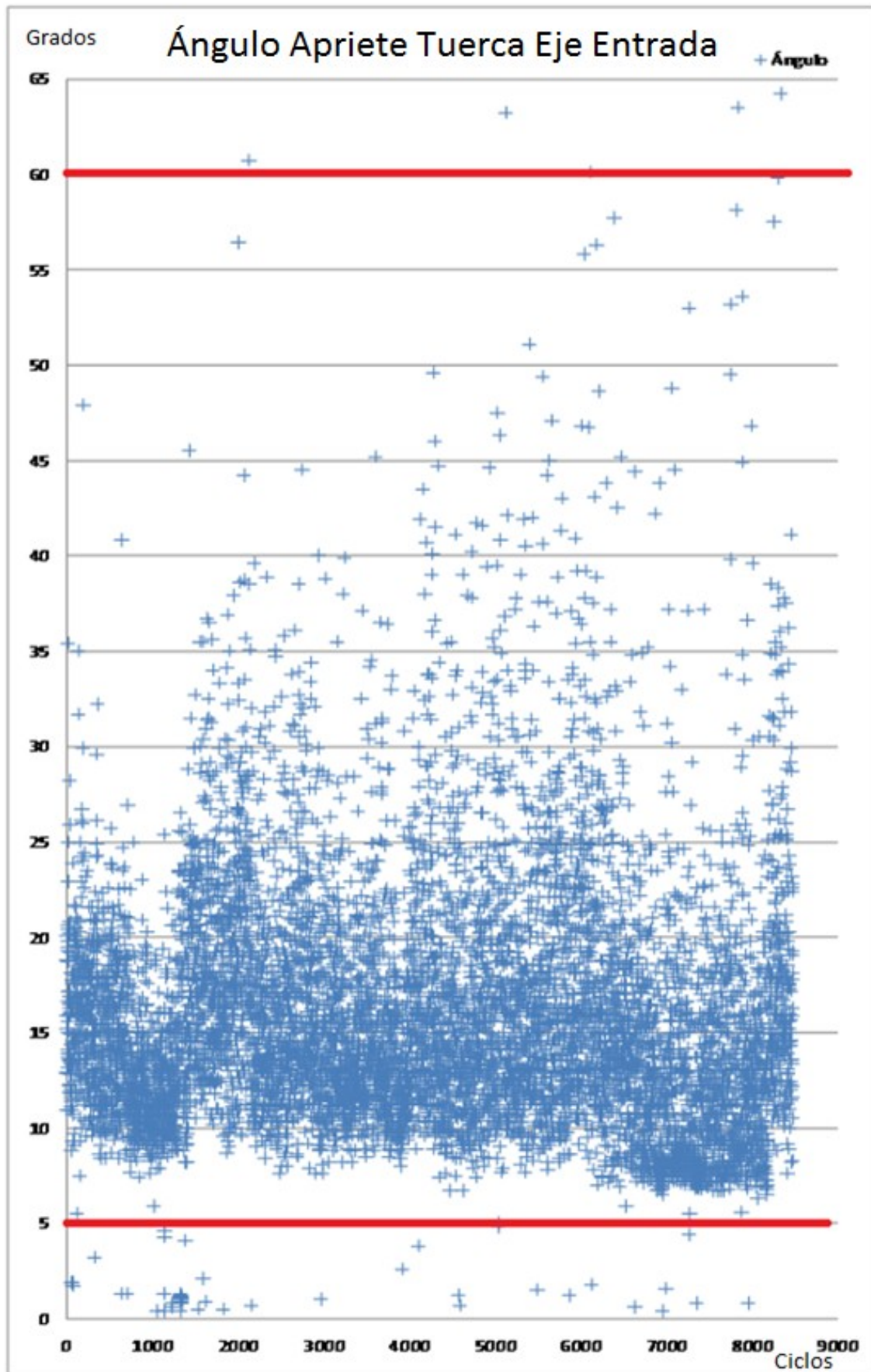
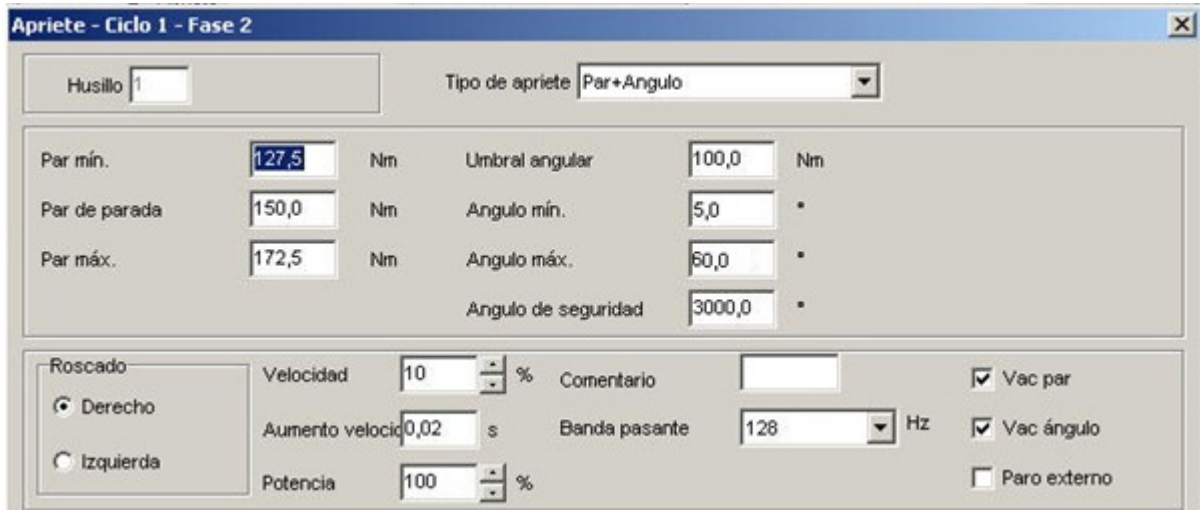


Figura 152: Gráfica de ángulos Apriete tuerca eje de entrada

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Como se puede ver en la Figura 152, la programación de los valores está más o menos clara. El inferior se programa en 5 grados y el superior, siendo conservadores como en las otras ocasiones se deja en 60 grados (Figura 153).



The screenshot shows a software window titled "Apriete - Ciclo 1 - Fase 2". It contains the following settings:

- Husillo:** 1
- Tipo de apriete:** Par+Angulo
- Par mín.:** 127,5 Nm
- Par de parada:** 150,0 Nm
- Par máx.:** 172,5 Nm
- Umbral angular:** 100,0 Nm
- Angulo mín.:** 5,0 °
- Angulo máx.:** 60,0 °
- Angulo de seguridad:** 3000,0 °
- Roscado:**
 - ☒ Derecho
 - ☐ Izquierda
- Velocidad:** 10 %
- Aumento velocidad:** 0,02 s
- Potencia:** 100 %
- Comentario:** (empty field)
- Banda pasante:** 128 Hz
- ☒ Vac par
- ☒ Vac ángulo
- ☐ Paro externo

Figura 153: Programación límites de ángulo

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

5.5.5. Apriete 5: Tuerca volante de inercia

El apriete de la tuerca que sujeta el volante de inercia (Figura 154) es, sin duda, uno de los más complicados de fábrica. Se trata de una tuerca que soporta el continuo movimiento de un volante de inercia que gira a velocidad moderada (en campo a 520 rpm, pero en pruebas se alcanzan las 850 rpm). Por ello, el par de apriete es fundamental, ya que, si se afloja, por alguna circunstancia, puede hacer que el volante de inercia salga despedido hacia el mecanismo que engrana con el eje de éste, de donde recibe la fuerza.

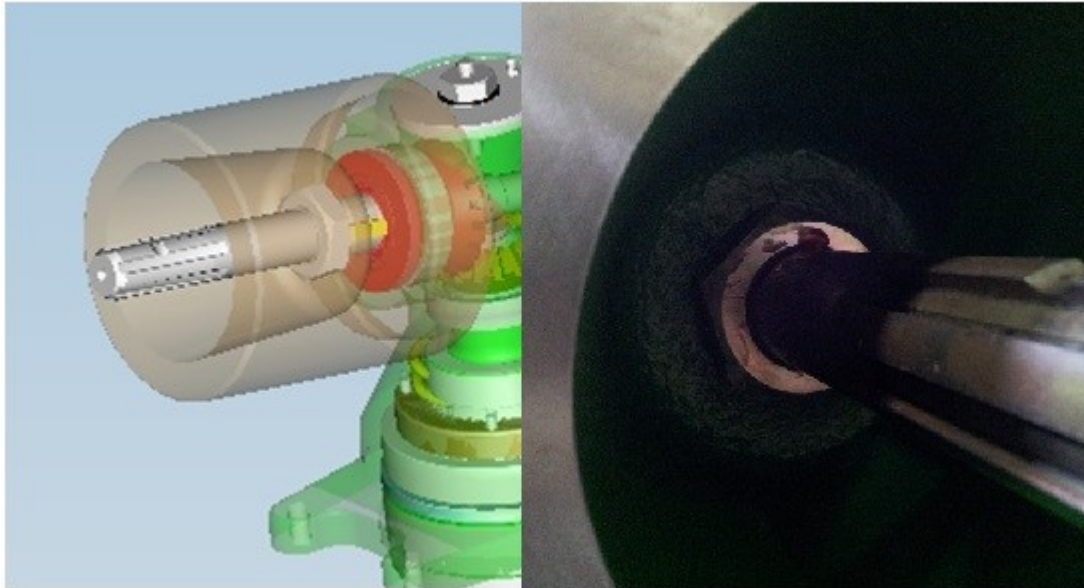


Figura 154: Apriete 5 - Tuerca volante de inercia

Otra peculiaridad de este apriete es que el eje sobre el que va montada la tuerca tiene una rosca muy larga y poco visible en el interior del volante de inercia. Esto hay que tratarlo con mucho cuidado a la hora de aproximar la tuerca ya que puede trasroscarse con facilidad. El par de apriete es $340 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 15\%$ ($340 \text{ N}\cdot\text{m} \pm 50 \text{ N}\cdot\text{m}$), con Loctite 272 en la rosca. Los elementos de la unión son: eje roscado, tuerca CE19586 (Figura 155) y volante de inercia de fundición.



Figura 155: Tuerca CE19586

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

La programación se hará como en los casos anteriores, sabiendo que posteriormente habrá que programar alguna etapa más que evite posibles errores durante el montaje (Figura 156).

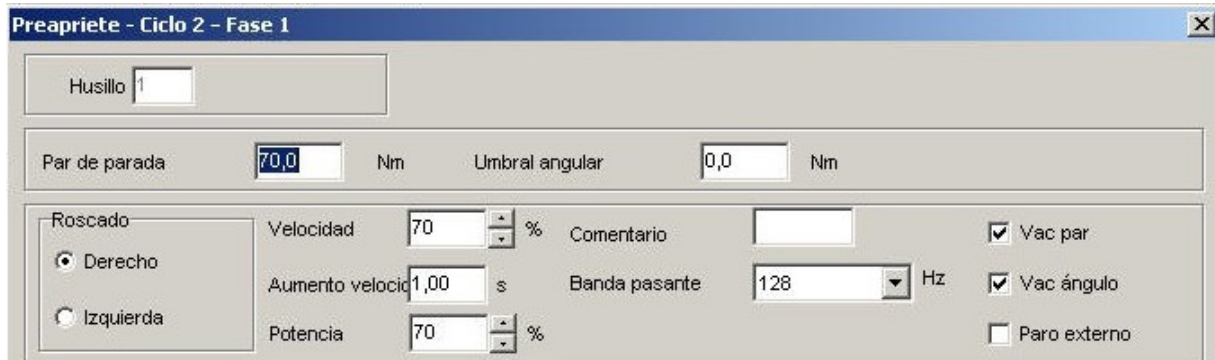


Figura 156: Pre apriete inicial

Se eligen valores de velocidad y potencia medios – altos para la aproximación durante el pre apriete (Figura 157). Luego se verá si son altos o bajos, una vez se hagan las pruebas de apriete.

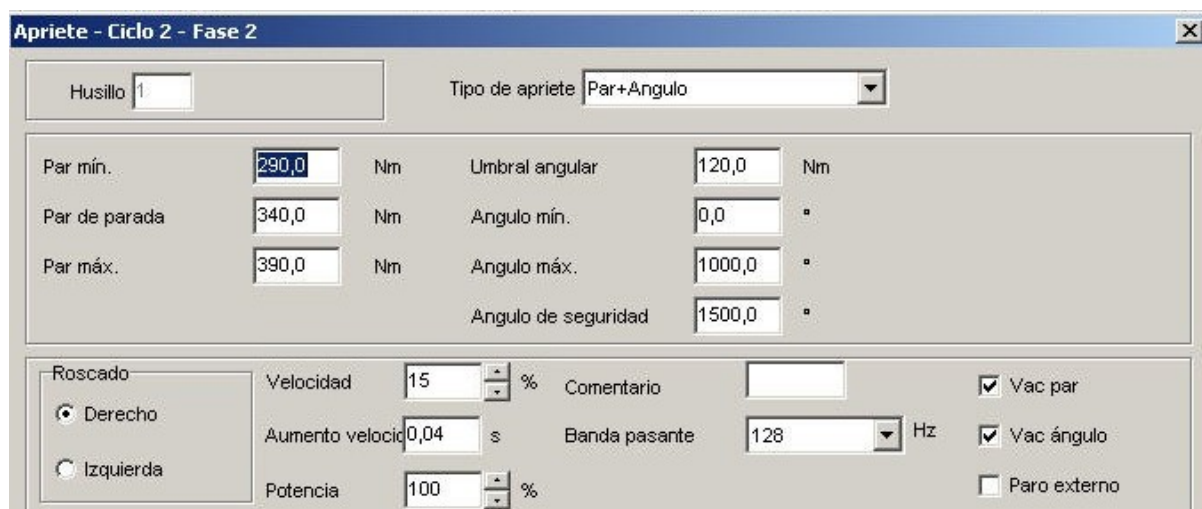


Figura 157: Apriete inicial

Se establecen los valores de parada y la tolerancia según plano, así como una velocidad reducida, al igual que se ha venido haciendo hasta ahora.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Durante la fase de pre apriete se observa que el husillo, aunque va a una velocidad adecuada, lo hace con demasiada potencia, ya que encuentra poco par durante el recorrido inicial. No es conveniente forzar mucho a la máquina para esta tarea, por lo que en la Figura 158 se modifica el valor de potencia, reduciéndolo al 40%.

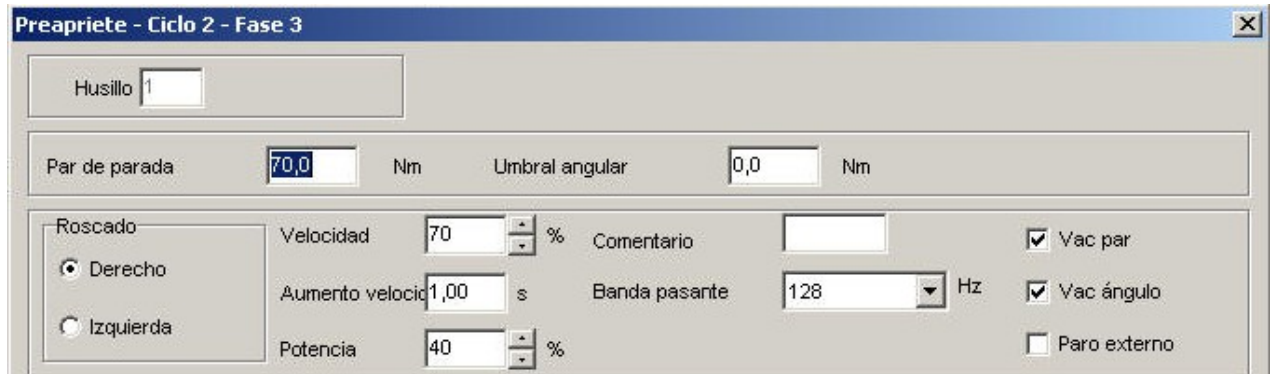


Figura 158: Pre apriete modificado

El apriete final ya es diferente, pues apretar 340 N·m requiere utilizar el 100% de la potencia.

Igual que en los casos anteriores, cuando se trata de un apriete por pieza, y con una cadencia de trabajo como la de este puesto, usar el 100% de la potencia no supone ningún problema (Figura 159).

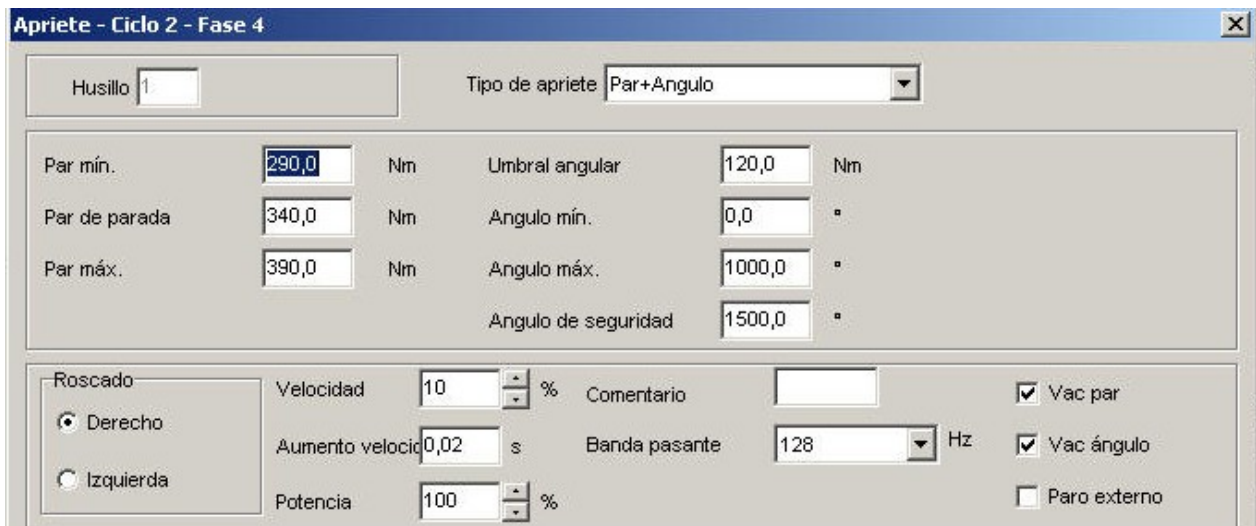


Figura 159: Apriete modificado

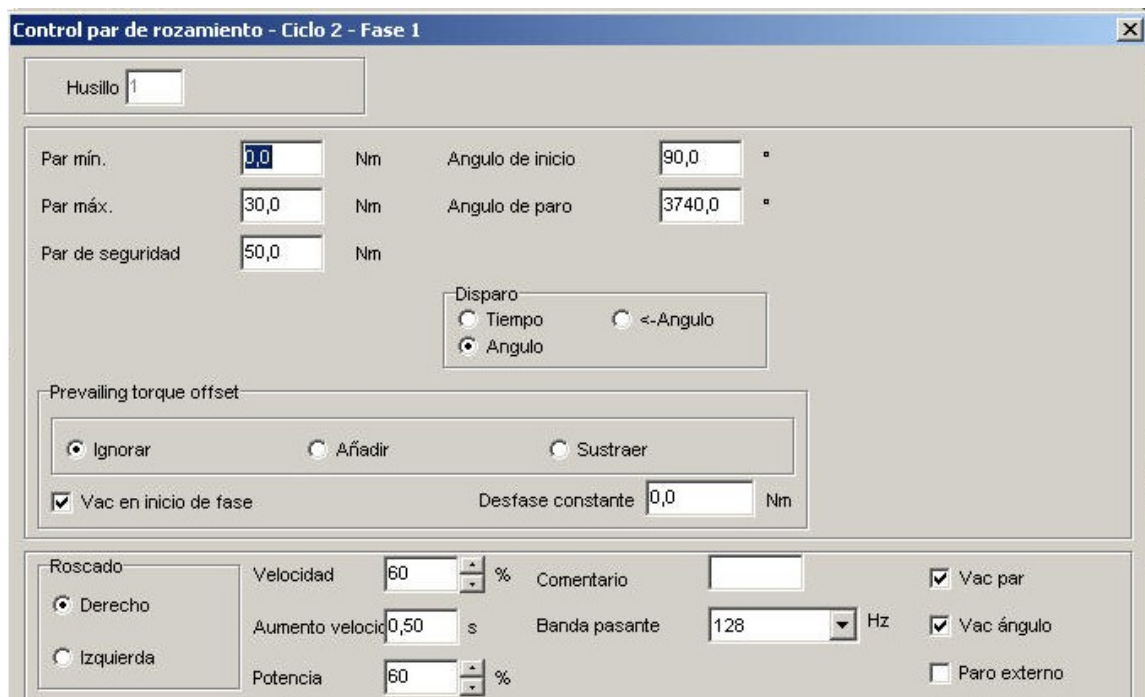
5. PROGRAMACIÓN DE APIRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Como se había adelantado anteriormente, durante la fase de pruebas se ha observado que es necesario algún tipo de ayuda al montaje.

Estas ayudas es necesario programarlas como etapas anteriores al pre apriete y harán de éste algo secundario.

En primer lugar hay que programar un control del par de rozamiento durante 3740 grados (Figura 160). Este es un valor medido de forma empírica. Se calcula contando las vueltas que puede girar la tuerca sin apenas rozamiento tras ser apuntada a mano. Lógicamente la tuerca es introducida a mano unas veces más vueltas y otras veces menos, pero este valor se corresponde con el peor caso posible, que sería apuntar la tuerca durante 5 vueltas hasta que se hace muy difícil debido al volante de inercia.

El valor de rozamiento máximo se establece en 30 N·m y el par de seguridad en 50 N·m. Si durante esta fase el par supera en algún momento 50 N·m el husillo para inmediatamente. Lógicamente, esta fase no puede hacerse a mucha potencia, ni a mucha velocidad, para que si aumenta el par de rozamiento la herramienta pueda detenerse de inmediato.



Control par de rozamiento - Ciclo 2 - Fase 1

Husillo

Par mín. Nm Angulo de inicio °

Par máx. Nm Angulo de paro °

Par de seguridad Nm

Disparo
☐ Tiempo ☐ <-Angulo
☒ Angulo

Prevailing torque offset
☒ Ignorar ☐ Añadir ☐ Sustraer

☒ Vac en inicio de fase Desfase constante Nm

Roscado
☒ Derecho ☐ Izquierda

Velocidad % Comentario

Aumento velocidad s Banda pasante Hz

Potencia % ☒ Vac par ☒ Vac ángulo ☐ Paro externo

Figura 160: Control par de rozamiento

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

La siguiente fase a incluir es la de tratamiento de defecto (Figura 161).

Consiste en la comprobación del par de rozamiento de la fase anterior. Si el par ha estado entre los valores de 0 y 30 N·m entonces da la orden de seguir adelante y empezar con la fase de pre apriete. En caso contrario ordena un desapriete de 7,5 segundos de duración y coloca el programa en la fase anterior, para controlar de nuevo el par de rozamiento.



Tratamiento defecto	
Número de ensayos	1
Tiempo de desapriete	7,50 s
Primeros ensayos	
Salto	1
Ultimo ensayo	Desapriete+Salto
Salto	1

Figura 161: Tratamiento de defecto

Una vez programado esto, y dado el caso tan especial que es, se estudiarán detenidamente los resultados de ángulo para ver si es conveniente programar los límites como en los otros casos o por el contrario no haría falta.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

En la Figura 162 se puede observar el gráfico de apriete. Se distingue claramente una fase de pre apriete larga debido al control de rozamiento de la tuerca. La fase final de apriete, en comparación, ocupa poco tiempo y se alcanza el par de apriete en menos de un segundo.



Figura 162: Gráfica Apriete tuerca volante de inercia

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

En la Figura 163 se pueden observar los ángulos obtenidos durante el estudio.

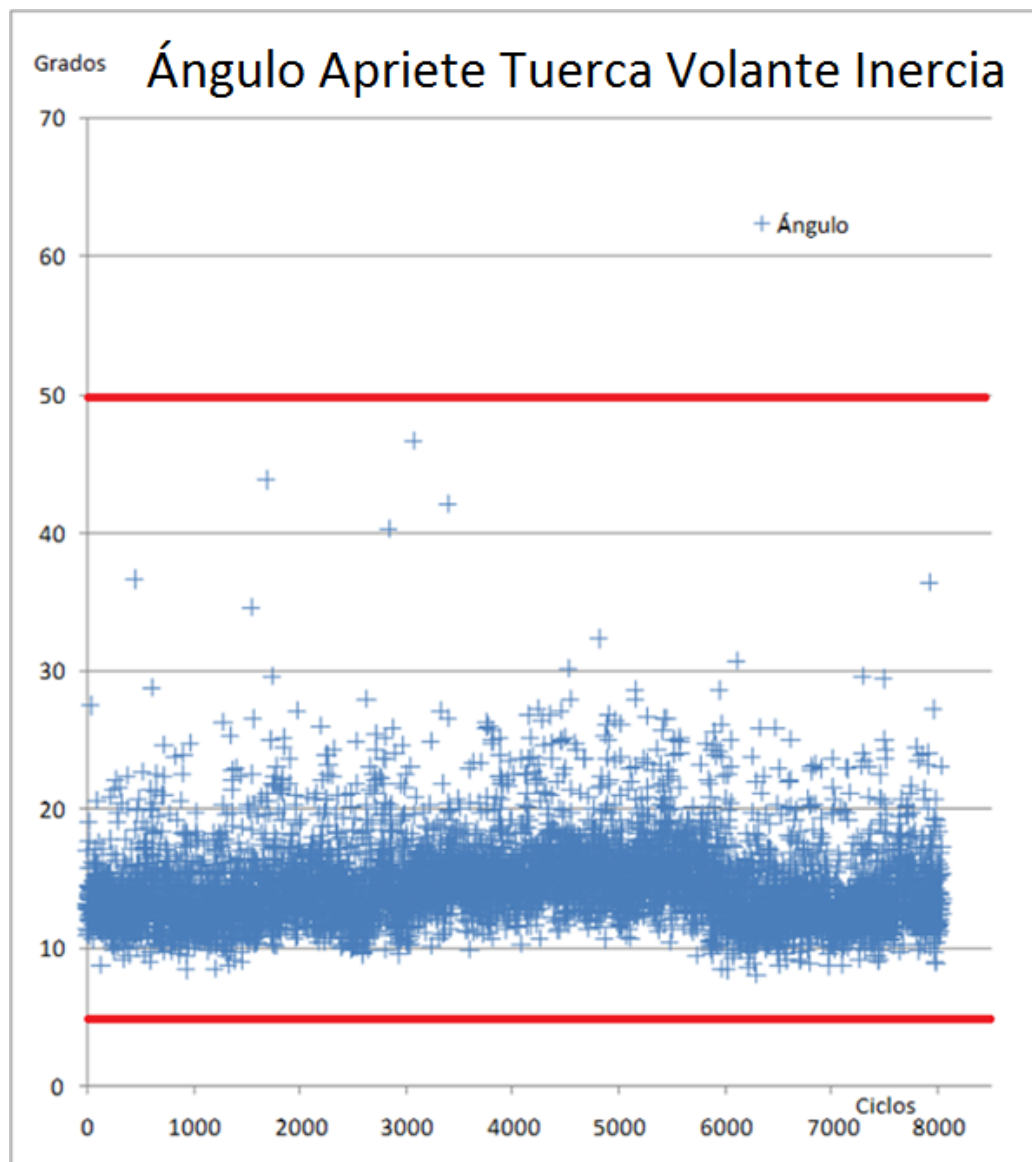
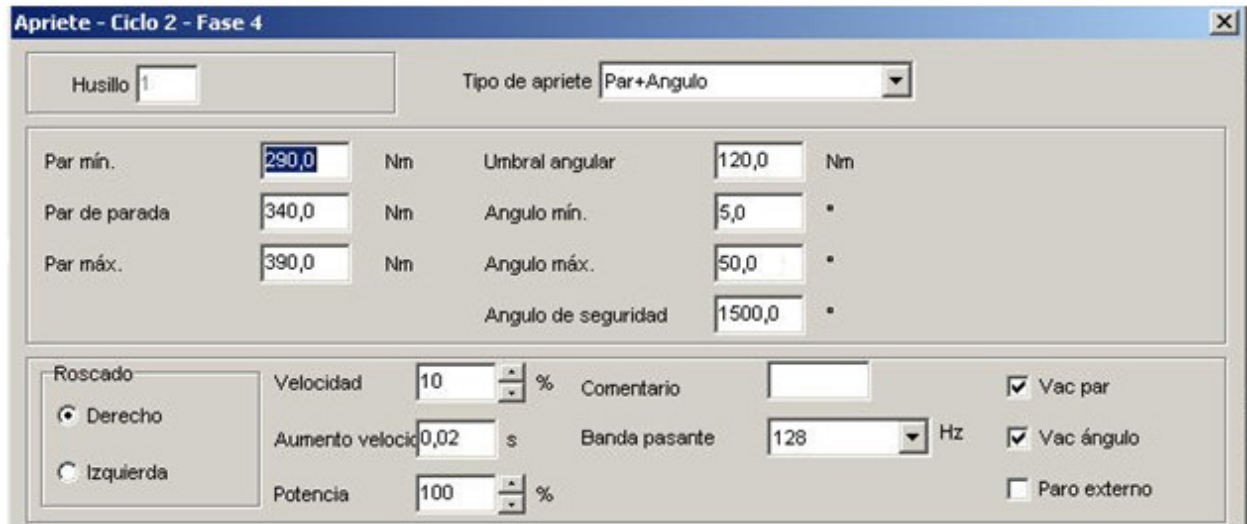


Figura 163: Gráfica de ángulos Apriete tuerca volante de inercia

Como se puede observar, los ángulos finales de apriete se establecen entre algo menos de 10 y los 25 grados.

5. PROGRAMACIÓN DE APRIETE CON HERRAMIENTA ELÉCTRICA

Se sigue siendo conservador en cuanto a la programación de los límites de ángulo (Figura 164). Por esa razón se ponen los límites en 5 grados el inferior y 50 el superior.



The screenshot shows a software window titled "Apriete - Ciclo 2 - Fase 4". It contains several input fields and checkboxes for configuring a tightening cycle. The "Tipo de apriete" is set to "Par+Angulo". The "Husillo" is set to "1". The torque limits are: "Par mín." 290,0 Nm, "Par de parada" 340,0 Nm, and "Par máx." 390,0 Nm. The angular limits are: "Umbral angular" 120,0 Nm, "Angulo mín." 5,0 °, and "Angulo máx." 50,0 °. The "Angulo de seguridad" is set to 1500,0 °. The "Roscado" section has "Derecho" selected. The "Velocidad" is 10 %, "Aumento velocidad" is 0,02 s, and "Potencia" is 100 %. The "Comentario" field is empty. The "Banda pasante" is set to 128 Hz. The checkboxes "Vac par" and "Vac ángulo" are checked, and "Paro externo" is unchecked.

Parameter	Value	Unit
Par mín.	290,0	Nm
Par de parada	340,0	Nm
Par máx.	390,0	Nm
Umbral angular	120,0	Nm
Angulo mín.	5,0	°
Angulo máx.	50,0	°
Angulo de seguridad	1500,0	°
Velocidad	10	%
Aumento velocidad	0,02	s
Potencia	100	%
Banda pasante	128	Hz

Figura 164: Programación límites de ángulo

Con esto queda definida la programación de los husillos eléctricos. La tendencia de la programación es conservadora en aquellos aprietes de baja y media criticidad. Sin embargo se han puesto todos los conocimientos y recursos posibles en la programación del último apriete. Se pueden hacer muchas programaciones válidas. La que aquí se ha presentado está basada en gran parte en la experiencia de los programadores y en lo aprendido en los cursos de formación que imparten las grandes empresas del sector.

6. CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto ha sido instalar un nuevo puesto de trabajo en John Deere Ibérica S.A. en el que se montará una caja de transmisión ubicada en el peine de una cosechadora. Se ha analizado cada una de las uniones atornilladas y se han decidido tanto los elementos como las herramientas óptimas para apretar de forma correcta, efectiva y eficiente, teniendo en cuenta, a su vez, la ergonomía y la reducción de esfuerzo por parte de los operarios de la línea.

A lo largo del documento se ha descrito la tecnología más avanzada y a la vez la más adecuada para los diferentes procesos de apriete que se pueden encontrar en una fábrica como JDISA.

Se ha comprobado que la mejor forma de realizar un apriete hoy en día es mediante herramienta eléctrica. Como ventaja palpable está la precisión, ya que es capaz de controlar todos los aspectos del apriete; y como desventaja la inversión, ya que puede resultar alta si el ritmo de trabajo no es el suficientemente como para amortizarla a corto o medio plazo.

También se observa que la programación es complicada, y para realizarla teniendo en cuenta todos los aspectos de la misma, se hace necesario conocer en detalle tanto el equipo como las uniones atornilladas. No todas las uniones atornilladas son iguales y, como se ha visto, una mínima variación de cualquier elemento puede resultar en un comportamiento totalmente distinto al previsto.

La experiencia personal avala los conocimientos de los que se ha hecho uso durante el presente documento.

7. TRABAJOS FUTUROS

Se proponen una serie de trabajos futuros, orientados a mejorar la productividad en la fábrica y facilitar todo lo posible aspectos como la calidad, la ergonomía y la seguridad:

- Siempre hay capacidad de mejora en cualquier área industrial, aunque el empleo de herramienta de última tecnología lo hace difícil, y cuando menos, caro. A pesar de la dificultad, se propone como trabajo futuro la implantación de una red de aprietes WiFi.

La red de aprietes WiFi consiste en la adquisición de todos los datos que son capaces de recoger los controladores y enviarlos al servidor de trazabilidad, donde podrán ser consultados y analizados por los responsables de Producción, Manufactura, Gerencia, etc.

- Otro ejemplo de trabajo futuro sería la automatización de la línea de producción, pero se perdería el “know how” de los operarios que, día tras día, turno tras turno, trabajan en la línea.
- Mejora del servicio de aprietes mediante la construcción de un almacén de repuestos, control de calibraciones de herramientas, revisiones periódicas, instalación de nuevos accesorios, etc.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Norma española UNE-EN ISO 6789:2004 – Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Herramientas dinamométricas manuales. Requisitos y métodos de ensayo para verificar la conformidad del diseño, de la calidad y del procedimiento de recalibración.
- Norma UNE 16502 – Herramientas de maniobra para tornillos y tuercas. Aberturas de las bocas de apriete. Serie métrica, medidas y tolerancias.
- Manual de Calidad de JD
- Norma UNE-EN-ISO 9001:2008
- Procedimiento corporativo P311 Capability Study (CS)
- IT para análisis de repetibilidad y reproducibilidad de calibres (Gauge R&R)
- JDT 904 - John Deere Waterloo Factory Specifications
- Bickford, John - *“An introduction to the design and behavior of bolted joints”*. ISBN 0-8247-9297-1
- “Open day” – Curso de apriete impartido por Atlas Copco
- “Tightening Technics” – Curso de apriete impartido por CP Desoutter
- “Tightening Strategies” – Curso de apriete impartido por CP Desoutter
- “Uniones atornilladas” – Curso impartido por Carlos Hernanz, experto en aprietes de John Deere Ibérica S.A.
- Pérez González, María José – *Análisis Tensodeformacional de un tornillo* – Proyecto Fin de Carrera, Universidad Carlos III de Madrid, 2010
- Manual de operario Controlador TWINCVI II / CVI II versión 4.1. CP Desoutter
- Sequence Fastening Process (SFP) Basics - Direct Programming with the TWINCVI II – CP Desoutter

8. BIBLIOGRAFÍA

- Sequence Fastening Process (SFP) Advanced – Programming from SFP_PC software – CP Desoutter
- Technical Solutions from the leader of Pulse Tool Technology – Cooper Tools
- Catálogo comercial Atlas Copco
- Catálogo comercial CP Desoutter
- Catálogo comercial FUJI TOOLS
- Catálogo comercial URYU TOOLS
- Catálogo comercial STAHLWILLE TOOLS
- Catálogo comercial NORBAR TOOLS
- Catálogo comercial TOHNICHI
- Hojas de Datos Mecánicos (HDM) Knife Drive Gen III. John Deere Ibérica S.A.
- Hojas de Datos Mecánicos (HDM) Knife Drive Gen IV. John Deere Ibérica S.A.